

Untersuchungen

zur

Jahresperiodik

bei

Grünalgen

Der Naturwissenschaftlichen Fakultät der

Friedrich-Alexander-Universität

Erlangen-Nürnberg

zur

Erlangung des Doktorgrades

vorgelegt von

Wolfgang Langner

aus Bremen

1967

DUNCKER & HUMBLLOT / BERLIN 1968

Als Dissertation genehmigt von der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Erlangen—Nürnberg.

Tag der mündlichen Prüfung: 29. November 1967

Dekan: Professor Dr. W. Haupt

Erstberichterstatter: Professor Dr. E. Kessler

Zweitberichterstatter: Professor Dr. W. Haupt

Sonderdruck aus: Beiträge zur Biologie der Pflanzen
45. Band, Erstes Heft, 1968

Beiträge
zur
Biologie der Pflanzen

Herausgegeben von
Prof. Dr. Karl Egle
und
Prof. Dr. Wilhelm Troll

45. Band · Erstes Heft

Mit 91 Abbildungen



DUNCKER & HUMBLOT / BERLIN 1968

Nicht im Handel!



Inhalt

W. LANGNER, Untersuchungen zur Jahresperiodik bei Grünalgen	1
J. A. INAMDAR, Trichomes and Nectaries on the Floral Organs of Two Species of <i>Ipomoea</i>	39
K.-D. VÖLGER und K. EGLE, <i>Datura metel</i> L. und ihre Verwechslungsformen	49
P. C. DATTA and ARATI DEB, Secondary xylem, floral traces and phylogeny of common Indian species of <i>Rumex</i>	69
A. GUR and R. M. SAMISH, The Role of Auxins and Auxin Destruction in the Vigor Effect Induced by Various Apple Rootstocks	91
P. C. DATTA and ANITA NAUG, A Few Strains of <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench. Their Karyological Study in Relation to Phylogeny and Organ Development	113
R. P. SINGH, Structure and development of seeds in Euphorbiaceae: <i>Melanthesa rhamnoides</i> Wt.	127
Y. S. CHAUHAN, Effect of Chronic gamma rays on microsporogenesis and pollen development in <i>Chenopodium album</i> Linn.	135
K. FRIES, Phenole und Wachstum. II. Die Wirkung von Phenylbrenztraubensäure, Phenylmilchsäure, p-Hydroxyphenylbrenztraubensäure und p-Hydroxyphenylmilchsäure im Avenakoleoptilzylinder-Test	143
W. HAGEMANN, Über den natürlichen Standort von <i>Cochliostema odoratissimum</i> Lem.	157

Ausgegeben am 23. 12. 1968

Alle Rechte vorbehalten

(Aus dem Botanischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg)

Untersuchungen zur Jahresperiodik bei Grünalgen

Von WOLFGANG LANGNER

(Mit 9 Abbildungen)

Eingegangen am 1. November 1967

Summary

Several physiological processes were tested in *Chlorella fusca* 211-11 m for seasonal changes of activity. Under constant experimental and growth conditions, the activities of hydrogenase, photosynthesis, respiration, reduction of nitrate and nitrite, and growth are subject to periodic changes in the course of the year. Except for the activities of nitrite reduction and growth, the maxima were found between March and June and the minima from Novembre to February. It has been shown that the seasonal changes of activity are inducted in the agar cultures, which were kept at a window and therefore exposed to the changing day-length in the course of the year. If not only the experimental cultures in liquid nutrient medium but also the agar cultures used for their inoculation are grown under constant conditions, the seasonal changes of activity gradually disappear. Non-periodic changes of activity are superimposed on the seasonal changes. In the case of growth, these have been found to be connected with meteorological factors (cyclonal-depressional conditions of the weather).

I. Einleitung

Jahresperiodische Aktivitätsschwankungen galten lange auf höhere Pflanzen beschränkt, weshalb sie auch heute noch bevorzugt an dieser Organismengruppe studiert werden (BÜNNING 1953, 1963; SWEENEY 1963; KUMMEROW 1965; BORNKAMM 1966). Erst in neuerer Zeit ist über dieses Phänomen auch bei Mikroorganismen berichtet worden, wobei allerdings einzellige Grünalgen nur in wenigen Fällen untersucht wurden (NEEB 1952; GORJUNOVA u. NASONOVA 1955; SCHWINK 1956; KESSLER u. LANGNER 1962; KESSLER u. CZYGAN 1963; CZYGAN 1963; KNOBLOCH 1966). Es erschien deshalb wünschenswert, verschiedene Stoffwechselprozesse an einem Objekt auf jahresrhythmische Intensitätsänderungen zu prüfen. Dazu lagen uns Vergleichsangaben für die Hydrogenase-Aktivität (KESSLER u. LANGNER

1962), die Nitrat- und Nitritreduktion (KESSLER u. CZYGAN 1963; CZYGAN 1963) sowie für die photosynthetische Sulfid-Oxydation (KNOBLOCH 1966) vor.

Das Problem der Synchronisation jahresperiodischer Aktivitätsschwankungen wurde bislang ebenfalls fast ausschließlich an höheren Pflanzen untersucht (BÜNNING 1953, 1963; SWEENEY 1963; KUMMEROW 1965; BORNKAMM 1966). Es gilt inzwischen als sicher, daß verschiedenartige Faktoren den Jahresrhythmus zu induzieren vermögen. Es sollte daher geprüft werden, ob bei einzelligen Grünalgen Anhaltspunkte für eine entsprechende Beeinflussung gegeben sind, wenn diese Mikroorganismen unter konstanten Bedingungen kultiviert werden und lediglich als Schrägagar-Stammkulturen dem Tag-Nacht-Wechsel ausgesetzt bleiben.

Nichtjahresperiodische Aktivitätsschwankungen treten gleichermaßen bei höheren Pflanzen und Mikroorganismen auf. Für diese Erscheinung wird heute besonders eine Reihe von meteorologischen Faktoren verantwortlich gemacht (BORTELS 1951, 1955; SCHWEMMLE u. FISCHER 1963; BREZOWSKY 1964; KISS 1957, 1958, 1959 a, b, 1960, 1961, 1962, 1964). Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Beeinflussung verschiedener Biosynthesen bei höheren Pflanzen durch ionisierte Luft (KRUEGER et al. 1962 a, b, c, 1963 a, b, 1964 a, b, 1965, 1966; KOTAKA et al. 1965 a, b, c). Das Ausmaß der nicht-jahresperiodischen Aktivitätsänderungen sollte ebenfalls bei einzelligen Grünalgen geprüft und, soweit möglich, zu meteorologischen Faktoren in Beziehung gesetzt werden.

II. Material und Methodik

A. Versuchsobjekt und Kulturbedingungen

Versuchsobjekt war der bereits früher von uns verwendete Stamm *Chlorella fusca*, Nr. 211—11 m (KESSLER u. LANGNER 1962; KESSLER et al. 1963) aus der Algensammlung PRINGSHEIM in Göttingen, dessen Art-Zuordnung erst kürzlich auf Grund biochemischer und morphologischer Kriterien gelang (KESSLER et al. 1963; SOEDER 1963; KESSLER 1967; FOTT u. NOVÁKOVÁ 1968).

Anzucht und Kultur erfolgten unter den von KESSLER (1965) und KESSLER et al. (1963) angegebenen Bedingungen.

Jahresrhythmische Aktivitätsmessungen erfordern eine weitgehende Standardisierung der Kultur- und Versuchsbedingungen. Wir haben dieser Tatsache in wesentlichen Punkten Rechnung getragen:

1. Schrägagar-Stammkulturen [2 Versuchsansätze: a) am Südfenster stehend dem Tag-Nacht-Wechsel ausgesetzt; b) im Konstantraum unter Dauerlicht] wurden im 4wöchigen Zyklus durch Überimpfen regeneriert. Die jeweils

keimfrei übertragene Algenmenge betrug 0,2 mg Trockensubstanz. Als Nährmedium diente die mit 1,5 % Agar verfestigte Nährlösung, deren Zusammensetzung bei KESSLER et al. (1963) angegeben ist.

2. Alle Kulturgefäße [2 Versuchsansätze: a) Röhren; b) ERLNMEYER-Kolben; Inhalt: 250 ml sterilisierte Nährlösung] beimpften wir mit der angegebenen Algenmenge (Ausgangskonzentration: 0,0008 mg Trockensubstanz pro ml).
3. Es wurden ausschließlich 7tägige Kulturen untersucht, die sich in der logarithmischen Wachstumsphase befanden (Suspensionsdichte: 2—5 mg Trockensubstanz pro 10 ml).
4. Durch vorhergehende Trockengewichtsbestimmung erzielten wir eine gleichbleibende Dichte der Versuchssuspensionen (Hydrogenase: 10 mg/2,5 ml; Photosynthese: 1,5 mg/3 ml; Atmung: 10 mg/2,7 ml; Nitrat- u. Nitritreduktion: 0,8 mg/ml; Wachstum: 0,0008 mg/ml als Ausgangskonzentration).
5. Eine eventuell vorhandene Tagesrhythmik ist durch zeitlich fixierten Versuchsbeginn berücksichtigt worden (Hydrogenase: 12^h; Photosynthese: 14^h; Atmung: 14^h; Nitrat- u. Nitritreduktion: 15^h; Wachstum: 15^h).

B. Bestimmungsmethoden und Bezugsgrößen

1. Manometrische Bestimmung (KREBS 1928; UMBREIT, BURRIS u. STAUFFER 1957; KOELLE 1966)

a) Hydrogenase

Die Hydrogenase-Aktivität bestimmten wir mit der Nitrit-Methode (KESSLER 1957; KESSLER et al. 1963). Der Zusatz von Nitrit (Endkonzentration: $1 \cdot 10^{-3}$ M, Phosphat-Puffer, 0,04 M, pH 6,5) erfolgte nach 20, 25 und 30 Std. Anaerobiose; in die Berechnung ging der größte der drei so erhaltenen Werte für die H₂-Aufnahme ein.

b) Photosynthese

Die apparente Photosynthese verfolgten wir über 2 Std. in halbstündlichen Ablesungen. Jeweils vor und hinter der Belichtungszeit lagen 1stündige Dunkelversuche (Versuchsmedium: Carbonat-Bicarbonat-Puffer, 0,1 M, pH 9,2 = „Warburg-Puffer Nr. 9“; vgl. LORENZEN 1953; KNOBLOCH 1966; Gasphase: Luft; Lichtintensität: 24 000 Lux). Die daraus errechnete reelle Photosynthese liegt den Kurven und Tabellenwerten zugrunde.

c) Atmung

Die aerobe Atmung bestimmten wir mit der KOH-Methode. Der respiratorische O₂-Verbrauch wurde während des 4stündigen Versuches stündlich gemessen (Versuchsmedium: Phosphat-Puffer, 0,04 M, pH 6,5; Gasphase: Luft).

Im allgemeinen standen für jeden Versuch 10 Warburg-Gefäße zur Verfügung (Kegelform, Volumen etwa 15 ml). Die Schüttelfrequenz betrug 100 pro min bei einer Amplitude von 4 cm. Alle Versuche wurden bei 20° C ausgeführt.

2. Spektrophotometrische Bestimmung

a) Nitrat- und Nitritreduktion

Nitrat- und Nitritreduktion sind nach der Vorschrift von CZYGAN (1963) gemessen worden.

b) Pigmentgehalte

Die quantitative Pigmentanalyse führten wir in Anlehnung an KESSLER u. CZYGAN (1965) durch (vgl. RÖBBELEN 1957; DERSCH 1960). Die Prüfung auf Sekundär-Carotinoide (zum Nachweis von Stickstoffmangel) erfolgte ebenfalls nach KESSLER u. CZYGAN (1965).

3. Trockengewichts- und Zellzahl-Bestimmung

Bei den Wachstumsmessungen entnahmen wir den Kulturen in regelmäßigen Abständen (am 5., 7., 9. und 11. Kulturtag) Proben. Die Zellzahl wurde unter dem Mikroskop in der Zählkammer nach THOMA, das Trockengewicht in Glasfildertiegeln (SCHOTT 10 G) mit Asbestauflage nach 2stündigem Trocknen bei 105° C ermittelt.

Für unsere Versuche diente fast ausnahmslos das Trockengewicht als Bezugsgröße. Lediglich bei den Wachstumsmessungen ist die Zellzahl als zusätzlicher Parameter herangezogen worden.

C. Versuchsreihen

Die jahresperiodischen Aktivitätsmessungen umfaßten 3 verschiedene Versuchsreihen, was durch die Kultivierungsart der Stammkulturen bedingt war:

1. Tageslichtkulturen. Unter dieser Bezeichnung verstehen wir Algen, deren Versuchskulturen unter konstanten Bedingungen gehalten wurden, deren Schrägagar-Stammkulturen aber dem Tag-Nacht-Wechsel ausgesetzt waren. Sie werden im Text sowie in den Tabellen und Abbildungen als „Tageslichtkulturen“ mit dem Zusatz „Schrägagaralgen“ geführt.
2. Dauerlichtkulturen. Unter dieser Bezeichnung werden 2 verschiedene Versuchsreihen zusammengefaßt:
 - a) Algen, deren Versuchs- und Schrägagar-Stammkulturen unter konstanten Bedingungen gehalten wurden. Sie werden als „Dauerlichtkulturen“ mit dem Zusatz „Schrägagaralgen“ geführt, und
 - b) Algen, deren Versuchskulturen ebenfalls unter konstanten Bedingungen gehalten wurden, denen aber die eingeschobene Agar-Phase fehlte. (Die Regeneration erfolgte hier jeweils schon nach 7 Tagen.) Sie werden als „Dauerlichtkulturen“ mit dem Zusatz „Passagenalgen“ geführt.

Auf Modifikationen wird im Text hingewiesen.

D. Signifikanzprüfung (MITTENECKER 1963; HASELOFF-HOFFMANN 1965; KREYSZIG 1965)

Interessant erscheinende Leistungsunterschiede wurden im t-Test nach PÄTAU (1943) auf Signifikanz geprüft. Außerdem bestimmten wir den Korrelationskoeffizienten r zwischen der Tageslänge und einigen Stoffwechselaktivitäten.

III. Ergebnisse

A. Jahresrhythmische Aktivitätsschwankungen

1. Hydrogenase-Aktivität

Für die vollständige Hydrogenase-Aktivierung erwies sich in Übereinstimmung mit früheren Arbeiten (KESSLER u. LANGNER 1962;

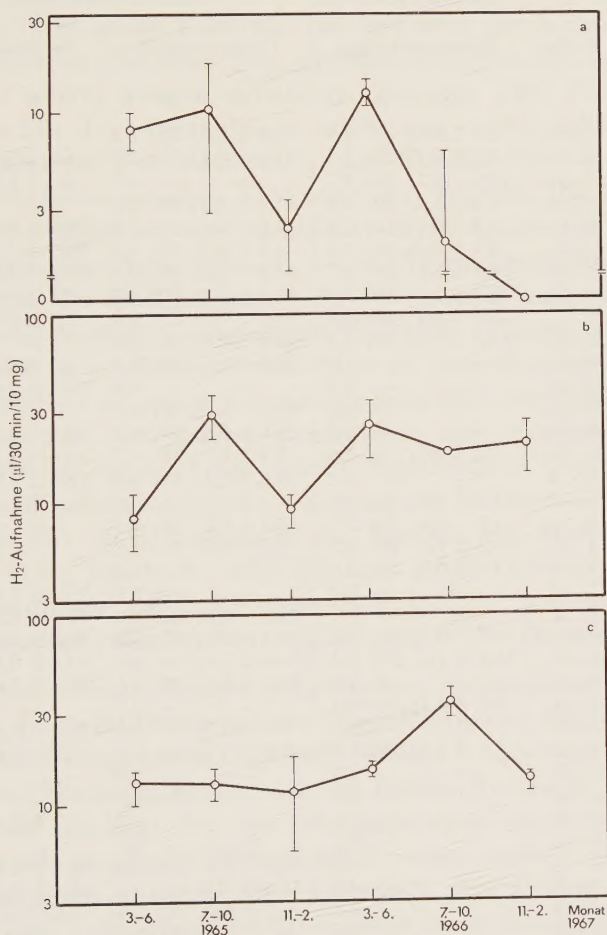


Abb. 1. Maximale Hydrogenase-Aktivität in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; Reduktion von Nitrit mit H_2 , 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase H_2 ; logarithmische Auftragung der Werte (= Mittelwerte aus 6 Einzelbestimmungen). a = Tageslichtkulturen: Schrägagaralgen; b = Dauerlichtkulturen: Passagenalgen; c = Dauerlichtkulturen: Schrägagaralgen.

Tabelle 1

Maximale Hydrogenase-Aktivität in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; Reduktion von Nitrit mit H_2 , 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase H_2 .

A = Aktivität ($\mu l H_2/30 \text{ min}$); B = Anaerobiose (Std);

C = Kulturwachstum (mg/10 ml).

Zeitpunkt		Hydrogenase-Aktivität								
J a h r		Tageslicht-Kulturen			Dauerlicht-Kulturen					
Monat	Woche	Schrägagaralgen			Passagenalgen			Schrägagaralgen		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
1965	9.-11.	3,3 $\pm$ 0,6;	20;	5,1	4,6 $\pm$ 0,1;	20;	3,1	—	—	4,0
	12.-14.	0,7 $\pm$ 0,1;	20;	2,1	21,9 $\pm$ 2,8;	30;	3,2	15,5 $\pm$ 0,5;	25;	4,1
	Mrz.-15.-17.	15,8 $\pm$ 0,7;	20;	3,7	—	—	4,5	8,4 $\pm$ 0,7;	20;	2,6
	Jun.-18.-20.	4,1 $\pm$ 1,5;	30;	3,9	14,5 $\pm$ 0,4;	20;	3,1	—	—	2,3
	21.-23.	21,3 $\pm$ 0,3;	20;	2,9	4,0 $\pm$ 0,1;	20;	2,0	30,0 $\pm$ 0,4;	20;	2,6
	24.-26.	3,4 $\pm$ 0,2;	20;	2,2	5,4 $\pm$ 0,2;	20;	3,0	24,7 $\pm$ 3,1;	20;	2,2
	27.-29.	12,9 $\pm$ 2,0;	20;	2,7	44,0 $\pm$ 4,6;	20;	3,3	41,6 $\pm$ 2,0;	25;	4,1
	30.-32.	32,8 $\pm$ 7,3;	30;	3,0	49,4 $\pm$ 3,8;	30;	4,4	0,8 $\pm$ 0,4;	20;	4,9
	Jul.-33.-35.	3,6 $\pm$ 0,1;	20;	3,6	36,2 $\pm$ 0,6;	25;	6,8	8,7 $\pm$ 0,4;	20;	4,7
	Okt.-36.-38.	13,5 $\pm$ 0,5;	20;	5,3	33,9 $\pm$ 4,8;	25;	8,2	—	—	4,6
1966	39.-41.	—	—	4,9	14,9 $\pm$ 0,2;	30;	2,0	1,3 $\pm$ 0,2;	20;	7,3
	42.-44.	—	—	5,2	—	—	3,9	25,3 $\pm$ 1,6;	20;	7,9
	45.-47.	—	—	3,0	16,5 $\pm$ 1,0;	20;	8,5	—	—	3,1
	48.-50.	—	—	3,8	8,6 $\pm$ 0,8;	20;	4,6	30,0 $\pm$ 0,1;	25;	5,4
	Nov.-51.-1.	1,4 $\pm$ 0,1;	20;	4,6	8,7 $\pm$ 0,2;	20;	3,5	18,6 $\pm$ 5,7;	25;	6,7
	Feb.-2.-4.	—	—	3,2	18,8 $\pm$ 0,3;	25;	3,9	14,4 $\pm$ 0,9;	20;	3,2
	5.-7.	11,2 $\pm$ 0,5;	20;	4,0	—	—	4,0	6,6 $\pm$ 1,5;	20;	3,6
	8.-10.	1,5 $\pm$ 0,9;	20;	3,7	2,3 $\pm$ 1,3;	20;	4,4	—	—	5,7
	11.-13.	36,3 $\pm$ 1,7;	20;	3,2	2,4 $\pm$ 0,5;	25;	3,2	—	—	2,9
	14.-16.	6,9 $\pm$ 0,4;	20;	3,2	—	—	3,2	—	—	2,9
1967	Mrz.-17.-19.	—	—	2,9	—	—	3,2	23,1 $\pm$ 1,2;	25;	3,5
	Jun.-20.-22.	—	—	3,7	36,5 $\pm$ 8,3;	25;	3,2	12,6 $\pm$ 0,3;	20;	3,0
	23.-25.	19,1 $\pm$ 0,2;	20;	3,9	8,4 $\pm$ 0,9;	25;	3,8	45,3 $\pm$ 0,5;	25;	3,6
	26.-28.	13,9 $\pm$ 1,0;	25;	2,2	106,9 $\pm$ 2,1;	20;	3,5	10,1 $\pm$ 0,1;	30;	2,1
	29.-31.	—	—	3,6	18,9 $\pm$ 0,9;	20;	3,1	75,3 $\pm$ 2,0;	20;	3,0
	32.-34.	6,5 $\pm$ 2,4;	20;	2,1	—	—	2,7	—	—	2,2
	Jul.-35.-37.	—	—	2,5	5,6 $\pm$ 0,7;	20;	2,2	128,8 $\pm$ 5,2;	30;	0,3
	Okt.-38.-40.	5,6 $\pm$ 3,3;	20;	1,8	89,8 $\pm$ 0,7;	20;	1,5	2,7 $\pm$ 1,6;	20;	3,7
	41.-43.	—	—	2,4	—	—	2,9	—	—	5,3
	44.-46.	—	—	4,0	—	—	1,8	—	—	5,5
1967	47.-49.	—	—	2,7	—	—	3,3	1,1 $\pm$ 0,6;	20;	2,1
	50.-52.	—	—	3,7	—	—	3,7	—	—	4,0
	Nov.-1.-3.	—	—	5,0	48,5 $\pm$ 5,9;	20;	7,1	30,3 $\pm$ 1,1;	20;	1,2
	Feb.-4.-6.	—	—	4,8	62,6 $\pm$ 1,4;	20;	6,4	42,4 $\pm$ 0,2;	20;	1,8
	7.-9.	—	—	3,3	6,7 $\pm$ 0,9;	20;	5,6	5,0 $\pm$ 0,7;	20;	4,0
	10.-12.	—	—	3,0	4,2 $\pm$ 1,4;	20;	2,7	—	—	5,6

KESSLER et al. 1963) eine 20—30stündige Anaerobiose als erforderlich (s. S. 3). Zwischen 5 und 7 Tage alten Kulturen läßt sich kein Leistungsabfall nachweisen. Wachstumsschwankungen bleiben ebenfalls ohne Einfluß auf den H_2 -Stoffwechsel. Stickstoffmangel, der bereits im Anfangsstadium die Aktivität der Hydrogenase wesentlich herabsetzt (KESSLER u. OESTERHELD, unveröffentlicht), tritt nach 7tägiger Kultivierung niemals auf.

Die Hydrogenase-Aktivität wurde bei Tages- und Dauerlichtkulturen über einen Zeitraum von 2 Jahren im 3wöchigen (± 3 Tage) Abstand gemessen. Den Aktivitätsverlauf zeigen Abb. 1 a—c. Darüber hinaus können detaillierte Angaben Tab. 1 entnommen werden. Für Tageslichtkulturen ergibt sich eine deutliche Jahresperiodizität mit dem Maximum in den Monaten März bis Juni und einem Minimum zwischen November und Februar. Die Übergangszeit (Juli—Oktober) wird in beiden Jahren durch eine auffallend große Streuung charakterisiert, die darauf zurückzuführen ist, daß zu Beginn des Herbstes von mehreren parallel angesetzten Warburg-Gefäßen stark divergierende Meßwerte erhalten wurden. Ob tatsächlich im Laufe dieser Jahreszeit die koordinierende Wirkung des Zeitgebers zu einem bestimmten Zeitpunkt kurzfristig absinkt, kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Zur Klärung dieser Frage wären eingehendere Untersuchungen erforderlich. Eine statistische Sicherung der Differenzen ist bedingt möglich. Für die Unterschiede der Maxima und Minima ergeben sich p-Werte von 0,16 (1965/66) bzw. 0,045 (1966/67). Die Leistungsamplitude schwankt unter Beibehaltung etwa gleichgroßer Jahresmaxima zwischen 70 (1965/66) und 100 % (1966/67).

Der für Tageslichtalgen aufgefundene Aktivitätsverlauf erfährt bei den Dauerlichtkulturen eine bemerkenswerte Abwandlung. Im Falle der Passagenalgen läßt sich für das 1. Jahr ein phasenverschobenes Maximum nachweisen, auf diesem Niveau im 2. Jahr die Rhythmik ausklingt. Bei den Schrägagaralgen liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Offensichtlich werden beide Versuchsreihen vom Dauerlicht unterschiedlich beeinflußt. Aus diesem Grunde erscheint eine Vermehrung der Stichproben durch Kombination beider Aktivitätskurven nicht zulässig. Sie unterbleibt daher auch bei den später noch zu besprechenden Stoffwechselprozessen.

Tages- und Dauerlichtkulturen unterscheiden sich nicht nur im Aktivitätsverlauf, sondern ebenso in der Leistungsfähigkeit der Hy-

Tabelle 2

Stoffwechselprozesse und Wachstum im Jahresmittel bei Tages- und Dauerlichtkulturen. Meßeinheiten s. Tab. 4 u. 12.

Versuchsreihe	Hydrogenase-Aktivität		
	Tageslicht-Kulturen	Dauerlicht-Kulturen	
		Schrägagaralgen	Passagenalgen
Rhythmikversuche:	106,9 ± 9,1	334,3 ± 13,6	301,3 ± 9,5
Parallelversuche:	149,4 ± 4,5	266,2 ± 11,5	267,5 ± 56,9
Versuchsreihe	Reelle Photosynthese		
Rhythmikversuche:	488,8 ± 3,1	501,8 ± 3,7	495,7 ± 3,5
Parallelversuche:	258,9 ± 3,0	210,4 ± 3,4	225,7 ± 3,1
Versuchsreihe	Aerobe Atmung		
Rhythmikversuche:	542,4 ± 4,7	608,0 ± 4,3	544,9 ± 4,5
Parallelversuche:	152,9 ± 3,0	144,2 ± 2,3	174,2 ± 5,6
Versuchsreihe	Nitratreduktion		
Rhythmikversuche:	27,5 ± 0,9	27,3 ± 1,1	26,2 ± 2,1
Parallelversuche:	7,1 ± 0,3	10,2 ± 0,9	9,7 ± 0,3
Versuchsreihe	Nitritreduktion		
Rhythmikversuche:	82,8 ± 1,2	72,6 ± 1,4	85,5 ± 1,6
Parallelversuche:	37,1 ± 0,9	33,8 ± 0,8	37,4 ± 0,6
Versuchsreihe	Wachstum (Trockengewicht)		
Rhythmikversuche:	57,1 ± 2,2	63,0 ± 1,8	57,7 ± 2,1
Parallelversuche:	21,8 ± 1,7	26,9 ± 2,4	20,4 ± 2,2
Versuchsreihe	Wachstum (Zellzahl)		
Rhythmikversuche:	66,8 ± 4,1	58,5 ± 3,1	60,5 ± 3,6
Parallelversuche:	14,5 ± 2,5	19,0 ± 3,1	17,3 ± 2,7

hydrogenase. Dies tritt besonders klar zutage, wenn man als Bezugsgröße den Jahresdurchschnitt wählt. Die Addition der entsprechenden Stichproben ergibt eine gesteigerte Hydrogenase-Aktivität im Dauerlicht (Tab. 2). Dieser Befund konnte durch Parallelversuche bestätigt werden, die wir alle zwei Monate durchführten (Tab. 2). Aus den vergleichenden Untersuchungen geht ferner hervor, daß Passagenalgen neben der erhöhten Aktivität ein forciertes Wachs-

tum zeigen. Dagegen fehlt eine derartige Konformität bei den ebenfalls unter Dauerlicht gehaltenen Schrägagaralgen. Möglicherweise bewirkt hier der übliche Kultivierungswechsel einen kurzzeitigen Wachstumsschock.

Doch auch Tageslichtkulturen entwickeln größere Enzymleistungen (und zwar registrierten wir Zuwachsraten bis über 200 ‰), wenn sie in modifizierten ERLÉNMEYER-Kolben bei Glühbirnen-Beleuchtung (500 Watt) angezogen werden. Die Leistungssteigerung läßt sich fast ohne Ausnahme zu jeder Jahreszeit reproduzieren (Tab. 3), wobei das angehobene Aktivitätsniveau über eine mehrstündige Anaerobiose erhalten bleibt (Abb. 2; vgl. Tab. 4). Außerdem fanden wir, daß Kolbenalgen im Vergleich zu Röhrenkulturen signifikant langsamer wachsen (Tab. 4; vgl. auch Tab. 3 unter C), dafür aber einen größeren Gehalt an Chlorophyll a aufweisen (Tab. 4). Unsere Versuche deuten darauf hin, daß die im Falle der Hydrogenase beobachtete krasse Leistungsdiskrepanz (aber auch die der übrigen Stoffwechselprozesse) in enger Beziehung zu den unterschied-

Tabelle 3

Maximale Hydrogenase-Aktivität in Abhängigkeit von der Jahreszeit und der Lichtquelle (s. Tab. 4) bei Tageslichtkulturen (Parallelversuche); Reduktion von Nitrit mit H_2 , 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase H_2 .

A = Aktivität ($\mu l H_2/30 \text{ min}$); B = Anaerobiose (Std); C = Kulturwachstum (mg/10 ml).

Zeitpunkt J a h r Monat	Hydrogenase-Aktivität					
	Tageslicht-Kulturen					
	Röhrenalgen			Kolbenalgen		
1965	A	B	C	A	B	C
März	10,9 $\pm$ 2,6;	25;	1,9	138,5 $\pm$ 2,4;	25;	0,9
Mai	—	—	2,8	110,7 $\pm$ 7,0;	20;	1,0
Juli	49,4 $\pm$ 9,8;	20;	2,8	116,8 $\pm$ 3,8;	20;	0,3
September	—	—	6,5	93,6 $\pm$ 3,9;	25;	0,9
November	—	—	8,3	101,6 $\pm$ 4,2;	30;	1,1
1966						
Januar	—	—	3,6	115,8 $\pm$ 1,4;	30;	0,6
März	—	—	4,5	129,8 $\pm$ 1,5;	30;	0,7
Mai	140,4 $\pm$ 1,5;	30;	1,9	324,9 $\pm$ 6,3;	20;	0,6
Juli	—	—	0,3	212,6 $\pm$ 3,4;	25;	0,1
September	—	—	3,1	215,6 $\pm$ 0,1;	20;	0,6
November	—	—	3,4	189,8 $\pm$ 4,4;	25;	0,6
1967						
Januar	—	—	4,8	1,0 $\pm$ 0,6;	20;	2,0
März	0,8 $\pm$ 0,5;	20;	2,8	149,8 $\pm$ 2,0;	20;	0,7

lichen Emissionsspektren der hier verwendeten Lichtquellen steht (Tab. 4). Jedenfalls ist kein Einfluß der Kulturgefäßtypen und ihrer spezifischen Begasungseinrichtung auf das Ausmaß der Hydrogenase-Aktivität nachweisbar. Inwieweit demzufolge die spektrale Strahldichtevertelung (SCHOSER 1966) bei Kolbenalgen eine Verschiebung des Jahresmaximums in Richtung Herbst bedingt (KESSLER u. LANGNER 1962), konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht näher geprüft werden. Doch scheinen die inzwischen abgeschlossenen Voruntersuchungen bereits in wesentlichen Punkten unsere oben aufgestellte Hypothese zu stützen. Für eine statistische Bearbeitung erweist sich die Anzahl der vorhandenen Stichproben jedoch als zu gering.

Wir haben schließlich in vierteljährlichen Messungen an Tageslichtkulturen auch die für maximale Hydrogenase-Aktivität erforderliche anaerobe Inkubationszeit (KESSLER u. MAIFARTH 1960) auf Jahresschwankungen untersucht. Gegen-

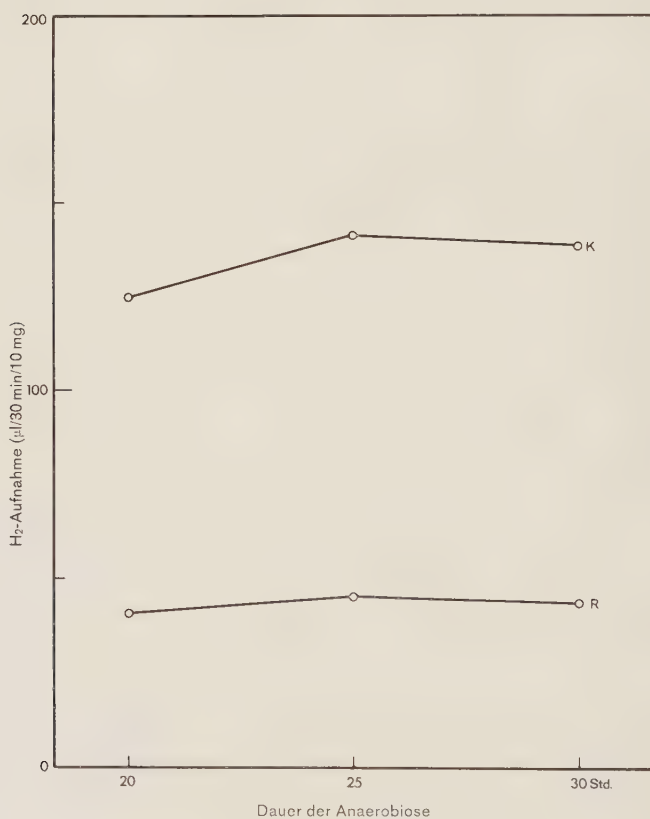


Abb. 2. Hydrogenase-Aktivität in Abhängigkeit von der Lichtquelle (s. Tab. 4) bei Tageslichtkulturen; Reduktion von Nitrit mit H₂, 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase H₂. K = Kolbenkulturen; R = Röhrenkulturen.

Tabelle 4

Stoffwechselprozesse, Wachstum und Pigmente in Abhängigkeit von der Lichtquelle bei Tageslichtkulturen. Mittelwerte aus 10 Einzelbestimmungen.

Stoffwechselprozesse, Wachstum, Pigmente		
Beleuchtungsart:	Tageslicht-Kulturen	
	Röhrenalgen	Kolbenalgen
Lichtquelle	Leuchtstoffröhren: Osram-L, 40 W/15-1; Philips TL 40 W 1/32 Warmton de Luxe Verhältnis: 3 : 2	Glühbirne: Osram 500 W, 220-230 V
Lichtintensität		
Lux	4 000	4 000
erg/cm ² · sec	16 800	96 000
Stoffwechselprozesse:		
Hydrogenase-Aktivität .. (μ l H ₂ /30 min/10 mg)	45,3 ± 0,5	141,3 ± 1,2
Reelle Photosynthese (μ l O ₂ /Std/mg)	58,5 ± 0,7	206,4 ± 1,1
Aerobe Atmung	33,1 ± 0,9	27,4 ± 0,6
Nitratreduktion	2,4	2,0
(· 10 ⁻⁵ M Nitrit/2 Std/ 0,8 mg)		
Nitritreduktion	1,7 ± 0,1	3,1 ± 0,2
(· 10 ⁻⁵ M Nitrit/2 Std/ 0,8 mg)		
Wachstum:		
a) Trockengewicht	5,7 ± 0,7	0,8 ± 0,1
(mg/10 ml)		
b) Zellzahl	8,0 ± 0,9	0,6 ± 0,1
(Zellen/4 · 10 ⁻³ mm ³)		
Pigmente:		
a) Chlorophyll a	2,9 ± 0,1	15,4 ± 1,1
(γ /mg)		
b) Chlorophyll b	1,5 ± 0,2	8,5 ± 1,9
(γ /mg)		
c) Carotinoide	1,0 ± 0,2	—
(γ /mg)		

über den Rhythmikversuchen (s. S. 3) wurde hier die H_2 -Aufnahme zusätzlich nach 5, 10, 15 sowie nach 35, 40 und 45 Std. gemessen. In Tab. 5 ist für jeden Versuch der Maximalwert mit dessen dazugehöriger Inkubationszeit angegeben. Das Ergebnis scheint darauf hinzudeuten, daß Tageslichtalgen in gewisser Übereinstimmung mit früheren Befunden im Frühjahr zur Erreichung des Maximalbetrages eine längere Anaerobiose benötigten (wenn man vom letzten März-Wert, 1967, absieht). Diese Differenzen treten zwar nicht bei unseren zweijährigen Rhythmikversuchen auf, was mit einer zu geringen Ablesungsspanne erklärt werden könnte; doch muß demnach entgegen vorhergehender Auffassungen (KESSLER u. LANGNER 1962) auch für die Aktivierungszeit der Hydrogenase (KESSLER et al. 1963) eine Jahresabhängigkeit angenommen werden.

Tabelle 5

Maximale Hydrogenase-Aktivität in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tageslichtkulturen; Reduktion von Nitrit mit H_2 , 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase H_2 .

A = Aktivität ($\mu l H_2/30 \text{ min}$); B = Anaerobiose (Std); C = Kulturwachstum (mg/10 ml).

Zeitpunkt	Hydrogenase-Aktivität		
J a h r	Tageslicht-Kulturen		
Monat	Schrägagaralgen		
1 9 6 5	A	B	C
März	15,3 $\pm$ 0,8; 45;	3,8	
Juni	43,5 $\pm$ 1,9; 25;	2,7	
September	39,1 $\pm$ 0,3; 15;	4,3	
Dezember	—	—	3,7
1 9 6 6			
März	20,4 $\pm$ 1,5; 45;	3,6	
Juni	39,4 $\pm$ 1,9; 10;	3,3	
September	—	—	4,3
Dezember	21,9 $\pm$ 6,9; 5;	2,8	
1 9 6 7			
März	0,3 $\pm$ 0,1; 20;	2,4	

2. Reelle Photosynthese

Die reelle Photosynthese erreicht ihre Maximalleistung im Regelfall nach 60 Minuten Belichtung. Lichtsättigung tritt bei 16 000 Lux ein. Der sogenannte Beschattungseffekt macht sich erst oberhalb von 1,5 mg Trockensubstanz pro ml bemerkbar. Dieser Grenzwert dürfte aber je nach Objekt und Versuchsbedingungen mehr

oder weniger starken Schwankungen unterworfen sein. Als Suspensionsdichte haben wir deshalb 0,5 mg Trockensubstanz pro ml gewählt. Ihr entspricht eine stündliche Gasdruckänderung von ungefähr 40 mm BRODIE'sche Lösung. Auch bei der maximalen Photosyntheseleistung besteht keine Abhängigkeit vom Kulturalter.

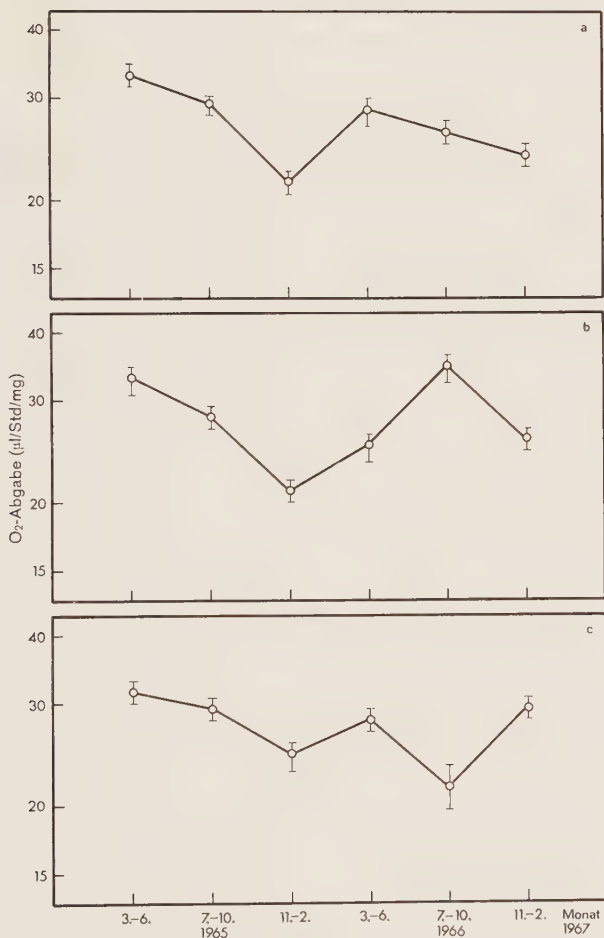


Abb. 3. Maximale reelle Photosynthese in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; O_2 -Abgabe, 1,5 mg Trockensubstanz/Gefäß, Lichtsättigung, Carbonat-Bicarbonat-Puffer, pH 9,2, Gasphase Luft; logarithmische Auftragung der Werte (= Mittelwerte aus 6 Einzelbestimmungen), Maßstab der Ordinate gegenüber Abb. 1 verdreifacht. a = Tageslichtkulturen: Schrägagaralgen; b = Dauerlichtkulturen: Passagenalgen; c = Dauerlichtkulturen: Schrägagaralgen.

Die reelle Photosynthese wurde ebenfalls im Laufe von zwei Jahren 3wöchentlich bei Tages- und Dauerlichtkulturen manometrisch bestimmt. Das Ergebnis geben Abb. 3 a—c wieder. Über Einzelheiten informiert außerdem Tab. 6. Im Falle der Tageslichtalgen läßt sich für die Photosynthese ein klarer Jahresgang nachweisen, dessen Maximum zwischen März und Juni liegt, während das Minimum in die Herbst- und Wintermonate (November—Februar) fällt. Somit entwickeln Photosynthese und Hydrogenase das gleiche Intensitätsgefälle. Die Leistungsamplitude erreicht jedoch in keinem Jahr den Differenzbetrag des H_2 -Stoffwechsels (1965/66: 50 %; 1966/67: 20 %). Trotzdem lassen sich für die weniger stark ausgeprägten Unterschiede p-Werte von 0,16 (1965/66) und 0,18 (1966/67) errechnen. Entsprechend der Hydrogenase bleibt auch hier das einheitliche Niveau der Extremwerte nicht gewahrt.

Dauerlichtkulturen zeigen in den ersten 12 Monaten gegenüber Tageslichtalgen kein abgewandeltes Bild. Lediglich das Minimum der Schrägagarkulturen liegt 15 % über dem der Passagenalgen. Im weiteren Verlauf ergibt sich für die letzteren ein phasenverschobenes Maximum, wohingegen die Rhythmik bei den Schrägagarkulturen im Ausklingen begriffen scheint. Allerdings war eine Steigerung der Photosynthese unter Dauerlicht nicht feststellbar (Tab. 2). Dagegen konnte ein derartiger Effekt mittels Kolben-Kultivierung erzielt werden (Tab. 4; Abb. 4). In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse von KNOBLOCH (1966) über die photosynthetische Sulfid-Oxydation interessant, der bei *Ankistrodesmus braunii* ebenfalls eine deutlich herabgesetzte Aktivität zwischen November und März fand. Seine Beobachtung, daß Dauerlichtkulturen das Aktivitätsminimum während der Wintermonate aufzufangen vermögen (laut mündlicher Mitteilung handelt es sich um Passagenalgen), darf auf Grund unserer Versuche als phasenverschobenes Maximum korrigiert werden. Doch tritt dieses Phänomen bei *Chlorella fusca* frühestens nach $1\frac{1}{2}$ Jahren auf, wobei sich dann aber Leistungsunterschiede bis zu 15 % ergeben.

3. Aerobe Atmung

Die aerobe Atmung überschreitet den Maximalwert bereits nach Istündiger Versuchsdauer. Jedoch erweist sich auch hier die Höchstleistung als unabhängig vom Kulturalter.

Tabelle 6

Maximale reelle Photosynthese in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; O_2 -Abgabe, 1,5 mg Trockensubstanz/Gefäß, Lichtsättigung, Carbonat-Bicarbonat-Puffer, pH 9,2, Gasphase Luft. A = Aktivität ($\mu l O_2$ /Std/mg); B = Belichtungszeit (min); C = Kulturwachstum (mg/10 ml).

Zeitpunkt		Reelle Photosynthese								
J a h r		Tageslicht-Kulturen			Dauerlicht-Kulturen					
Monat	Woche	Schrägagaralgen			Passagenalgen			Schrägagaralgen		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
1965	9.-11.	52,8 ± 0,5;	60;	3,0	30,9 ± 0,3;	120;	3,1	13,5 ± 0,1;	60;	3,5
	12.-14.	10,7 ± 0,2;	120;	3,8	34,8 ± 1,0;	60;	3,7	34,7 ± 0,8;	30;	3,0
Mrz.-	15.-17.	32,0 ± 0,4;	30;	6,3	24,0 ± 0,6;	30;	4,8	19,5 ± 0,7;	90;	7,1
Jun.	18.-20.	25,1 ± 1,0;	30;	4,9	36,9 ± 0,6;	90;	2,3	22,7 ± 0,5;	30;	4,2
	21.-23.	50,6 ± 0,7;	90;	3,3	19,4 ± 0,3;	60;	6,2	58,5 ± 0,7;	90;	2,5
	24.-26.	28,2 ± 0,6;	30;	5,1	51,6 ± 1,4;	60;	2,2	41,9 ± 0,5;	60;	2,3
	27.-29.	30,1 ± 0,2;	90;	2,5	26,1 ± 0,6;	120;	2,2	12,7 ± 0,1;	60;	2,1
	30.-32.	47,4 ± 0,6;	90;	2,9	30,6 ± 0,4;	120;	1,9	35,6 ± 0,6;	30;	4,6
Jul.-	33.-35.	31,1 ± 0,6;	30;	3,6	52,2 ± 1,0;	30;	6,1	55,8 ± 0,4;	90;	3,7
Okt.	36.-38.	42,4 ± 0,3;	30;	7,1	31,6 ± 0,3;	60;	5,1	27,0 ± 0,4;	30;	6,7
	39.-41.	15,5 ± 0,5;	30;	4,3	12,0 ± 0,2;	90;	1,0	12,1 ± 0,6;	60;	5,7
	42.-44.	9,4 ± 0,4;	60;	7,3	16,7 ± 0,4;	60;	6,5	35,8 ± 0,8;	90;	6,7
	45.-47.	11,5 ± 0,4;	60;	3,8	10,9 ± 0,2;	90;	5,5	8,9 ± 0,2;	60;	3,0
	48.-50.	18,3 ± 0,3;	60;	1,7	29,0 ± 0,3;	60;	5,4	52,8 ± 0,4;	90;	3,6
Nov.-	51.- 1.	42,0 ± 0,6;	90;	5,2	10,8 ± 0,5;	60;	3,8	15,2 ± 0,1;	90;	6,7
Feb.	2.- 4.	21,0 ± 0,6;	30;	5,4	29,3 ± 0,6;	120;	3,9	25,1 ± 0,5;	60;	4,3
1966	5.- 7.	22,3 ± 0,4;	90;	4,0	30,3 ± 0,5;	60;	3,5	29,0 ± 0,7;	60;	3,9
	8.-10.	14,5 ± 0,4;	90;	3,2	14,8 ± 0,5;	90;	4,0	15,0 ± 0,8;	90;	6,0
	11.-13.	36,9 ± 0,9;	60;	2,9	14,0 ± 0,3;	30;	6,9	8,3 ± 0,4;	30;	3,2
	14.-16.	24,5 ± 0,6;	90;	3,9	15,3 ± 0,3;	30;	3,0	14,8 ± 0,3;	90;	2,0
Mrz.-	17.-19.	30,9 ± 0,6;	30;	2,9	24,5 ± 0,8;	120;	2,1	31,4 ± 0,6;	60;	2,9
Jun.	20.-22.	19,5 ± 0,6;	90;	2,8	32,6 ± 0,8;	90;	4,2	50,5 ± 0,4;	60;	2,6
	23.-25.	32,9 ± 0,5;	60;	4,2	27,9 ± 0,7;	60;	4,3	40,9 ± 0,2;	60;	4,4
	26.-28.	26,3 ± 0,4;	60;	3,0	35,6 ± 0,7;	120;	2,7	23,4 ± 0,9;	60;	2,5
	29.-31.	18,3 ± 0,5;	120;	2,5	15,0 ± 0,2;	90;	2,0	7,3 ± 0,4;	90;	2,2
	32.-34.	33,7 ± 0,4;	60;	2,2	33,3 ± 0,8;	30;	2,1	17,3 ± 0,2;	90;	5,2
Jul.-	35.-37.	34,3 ± 0,6;	60;	3,4	48,7 ± 0,3;	60;	2,2	30,3 ± 0,9;	120;	1,9
Okt.	38.-40.	34,3 ± 0,3;	120;	1,6	41,1 ± 0,4;	60;	1,8	34,6 ± 0,8;	120;	3,0
	41.-43.	14,1 ± 0,2;	120;	4,2	30,0 ± 0,9;	60;	2,8	29,9 ± 1,5;	60;	5,0
	44.-46.	24,3 ± 0,6;	60;	3,5	38,4 ± 1,1;	60;	7,6	8,5 ± 0,3;	60;	8,3
	47.-49.	31,3 ± 0,7;	60;	3,0	26,8 ± 0,5;	60;	3,6	52,1 ± 0,7;	60;	1,8
	50.-52.	30,0 ± 0,4;	60;	2,5	40,4 ± 0,3;	60;	1,9	35,1 ± 0,8;	60;	2,2
Nov.-	1.- 3.	20,4 ± 0,6;	60;	4,7	16,4 ± 0,3;	60;	7,1	17,7 ± 0,1;	60;	7,6
Feb.	4.- 6.	21,4 ± 0,3;	90;	5,5	21,1 ± 0,5;	60;	7,4	19,0 ± 0,4;	120;	5,9
1967	7.- 9.	17,2 ± 0,2;	90;	4,7	15,4 ± 0,7;	120;	5,0	8,2 ± 0,1;	60;	4,1
	10.-12.	22,3 ± 0,4;	90;	3,5	35,2 ± 0,4;	90;	2,3	46,3 ± 0,5;	90;	2,0

Das Resultat unserer 2jährigen Messungen der aeroben Atmung bei Tages- und Dauerlichtkulturen beinhalten Abb. 5 a—c. Bezüglich weiterer Angaben sei auf Tab. 7 verwiesen. Danach ergibt sich für Tageslichtalgen in Übereinstimmung mit den vorher besprochenen Stoffwechselprozessen ein Maximum zwischen März und Juni. Gegenüber Hydrogenase und Photosynthese bleibt das Minimum je-

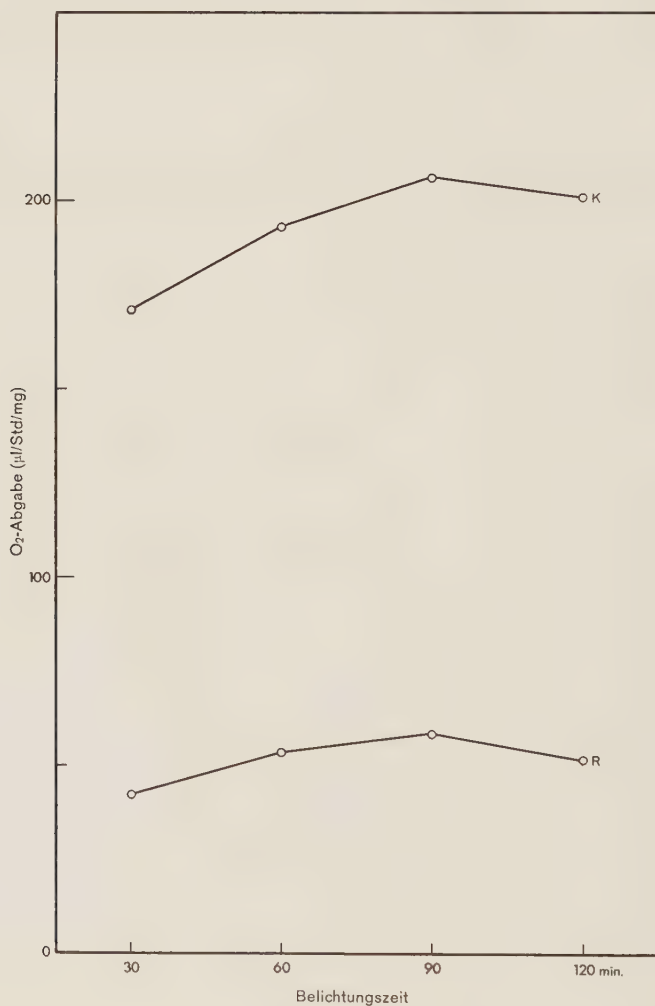


Abb. 4. Reelle Photosynthese in Abhängigkeit von der Lichtquelle (s.Tab. 4) bei Tageslichtkulturen; O₂-Abgabe, 1,5 mg Trockensubstanz/Gefäß, Lichtsättigung, Carbonat-Bicarbonat-Puffer, pH 9,2, Gasphase Luft. K = Kolbenkulturen; R = Röhrenkulturen.

doch nicht auf den Zeitraum November—Februar beschränkt, sondern beginnt schon in den Monaten Juli bis Oktober. Auffällig ist ferner, daß das Maximum des zweiten Jahres nur noch die Höhe des Minimums des ersten erreicht. Dieser Schwankungsbereich, der im Falle des Maximums weniger als 15 % beträgt, erhöht sich für das Minimum um 35 %. Die daraus resultierende Leistungsampli-

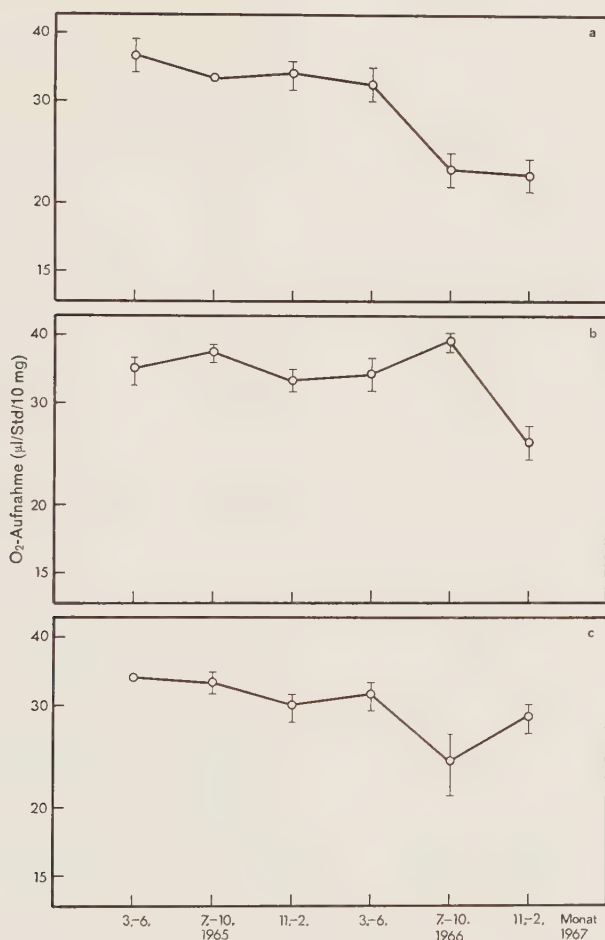


Abb. 5. Maximale aerobe Atmung in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; O₂-Aufnahme, 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase Luft; logarithmische Auftragung der Werte (= Mittelwerte aus 6 Einzelbestimmungen), Maßstab der Ordinate gegenüber Abb. 1 verdreifacht. a = Tageslichtkulturen: Schrägagargalgen; b = Dauerlichtkulturen: Passagenalgen; c = Dauerlichtkulturen: Schrägagargalgen.

Tabelle 7

Maximale aerobe Atmung in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; O₂-Aufnahme, 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase Luft. A = Aktivität ($\mu\text{l O}_2/\text{Std}$); B = Kulturwachstum (mg/10 ml).

Zeitpunkt		Aerobe Atmung					
J a h r		Tageslicht-Kulturen		Dauerlicht-Kulturen			
Monat	Woche	Schrägagaralgen		Passagenalgen		Schrägagaralgen	
		A	B	A	B	A	B
1965	9.-11.	36,9 $\pm$ 2,0;	3,1	33,5 $\pm$ 1,1;	3,3	37,4 $\pm$ 0,5;	4,0
	12.-14.	37,7 $\pm$ 1,3;	3,2	34,8 $\pm$ 1,1;	2,9	32,1 $\pm$ 0,4;	3,1
	15.-17.	35,4 $\pm$ 0,4;	6,5	37,1 $\pm$ 0,3;	5,8	37,2 $\pm$ 0,3;	6,6
	18.-20.	36,0 $\pm$ 0,4;	4,1	40,0 $\pm$ 0,4;	5,1	43,6 $\pm$ 0,3;	3,0
	21.-23.	32,7 $\pm$ 0,3;	2,9	29,6 $\pm$ 0,3;	4,0	27,9 $\pm$ 0,3;	2,5
	24.-26.	41,0 $\pm$ 0,3;	4,1	32,0 $\pm$ 0,7;	3,6	27,1 $\pm$ 0,5;	2,5
	27.-29.	28,8 $\pm$ 0,6;	3,1	28,8 $\pm$ 0,3;	3,7	38,2 $\pm$ 1,2;	2,2
	30.-32.	38,9 $\pm$ 0,4;	2,7	39,5 $\pm$ 0,3;	2,8	32,2 $\pm$ 1,0;	5,5
	33.-35.	39,0 $\pm$ 0,5;	5,6	45,2 $\pm$ 0,2;	7,5	36,3 $\pm$ 0,4;	6,7
	36.-38.	35,4 $\pm$ 0,5;	5,4	29,2 $\pm$ 0,7;	7,5	27,9 $\pm$ 0,2;	3,9
	39.-41.	28,1 $\pm$ 0,4;	2,5	35,2 $\pm$ 0,5;	2,7	28,2 $\pm$ 0,4;	6,9
	42.-44.	28,2 $\pm$ 0,3;	4,0	43,9 $\pm$ 0,7;	9,4	36,9 $\pm$ 0,6;	4,0
	45.-47.	27,1 $\pm$ 0,3;	3,1	28,2 $\pm$ 0,4;	7,7	31,9 $\pm$ 0,2;	3,2
	48.-50.	37,3 $\pm$ 0,2;	7,4	22,4 $\pm$ 0,2;	5,5	35,5 $\pm$ 0,4;	5,7
	Nov.-	37,9 $\pm$ 1,3;	3,6	34,0 $\pm$ 0,2;	3,7	16,1 $\pm$ 0,5;	6,7
	Feb.	32,1 $\pm$ 1,5;	3,5	28,1 $\pm$ 0,9;	4,3	36,6 $\pm$ 1,2;	4,5
1966	5.-7.	36,0 $\pm$ 0,2;	3,1	43,6 $\pm$ 0,3;	4,1	33,6 $\pm$ 0,3;	4,0
	8.-10.	30,6 $\pm$ 0,2;	3,2	40,3 $\pm$ 1,0;	3,7	25,6 $\pm$ 0,3;	5,4
	11.-13.	33,4 $\pm$ 1,3;	2,8	30,8 $\pm$ 0,5;	3,9	27,5 $\pm$ 0,4;	3,1
	14.-16.	29,1 $\pm$ 0,7;	3,7	37,7 $\pm$ 0,4;	4,0	27,2 $\pm$ 1,1;	3,4
	17.-19.	33,0 $\pm$ 1,2;	3,9	32,8 $\pm$ 1,7;	3,2	31,2 $\pm$ 1,1;	3,6
	20.-22.	31,2 $\pm$ 0,5;	3,5	31,7 $\pm$ 0,3;	4,0	34,4 $\pm$ 0,8;	2,9
	23.-25.	31,9 $\pm$ 0,3;	4,2	30,5 $\pm$ 0,6;	4,1	38,0 $\pm$ 0,4;	4,2
	26.-28.	35,4 $\pm$ 0,7;	3,3	41,1 $\pm$ 1,5;	4,1	31,1 $\pm$ 0,6;	2,7
	29.-31.	11,7 $\pm$ 0,2;	2,7	15,4 $\pm$ 0,3;	2,1	30,1 $\pm$ 1,2;	3,8
	32.-34.	27,0 $\pm$ 0,8;	2,2	74,1 $\pm$ 0,8;	2,0	12,7 $\pm$ 0,3;	3,0
	35.-37.	25,2 $\pm$ 0,3;	3,3	38,9 $\pm$ 0,4;	2,6	22,8 $\pm$ 0,8;	2,0
	38.-40.	36,0 $\pm$ 0,9;	1,7	37,8 $\pm$ 1,1;	2,2	15,4 $\pm$ 0,5;	3,3
	41.-43.	17,0 $\pm$ 0,8;	4,4	24,9 $\pm$ 0,3;	2,8	51,4 $\pm$ 2,1;	2,8
	44.-46.	19,7 $\pm$ 0,5;	5,3	40,4 $\pm$ 0,6;	3,0	11,8 $\pm$ 1,3;	8,6
	47.-49.	18,6 $\pm$ 0,5;	6,3	43,1 $\pm$ 0,3;	2,6	47,2 $\pm$ 0,3;	2,2
	50.-52.	37,2 $\pm$ 0,3;	2,5	44,5 $\pm$ 0,7;	2,7	30,8 $\pm$ 0,8;	2,6
1967	1.-3.	29,1 $\pm$ 0,5;	2,4	16,9 $\pm$ 0,2;	7,6	39,8 $\pm$ 0,7;	7,6
	4.-6.	15,8 $\pm$ 1,5;	6,8	14,0 $\pm$ 0,3;	6,4	17,3 $\pm$ 0,5;	5,9
	7.-9.	14,6 $\pm$ 0,5;	6,1	12,0 $\pm$ 0,6;	6,0	11,3 $\pm$ 0,5;	5,9
	10.-12.	19,7 $\pm$ 0,3;	3,7	24,0 $\pm$ 1,4;	3,3	25,4 $\pm$ 0,6;	3,3

tude (1965/66: 10 ‰; 1966/67: 40 ‰) ist lediglich im 2. Jahr mit einem p-Wert von 0,028 schwach gesichert. Da sich für das erste Jahr jedoch ein gleichsinniger Kurvenverlauf zeigt, dessen Gipfel zwar nur geringfügig über dem allgemeinen Niveau liegt, verneinen wir hier eine zufällige Verteilung der Stichproben.

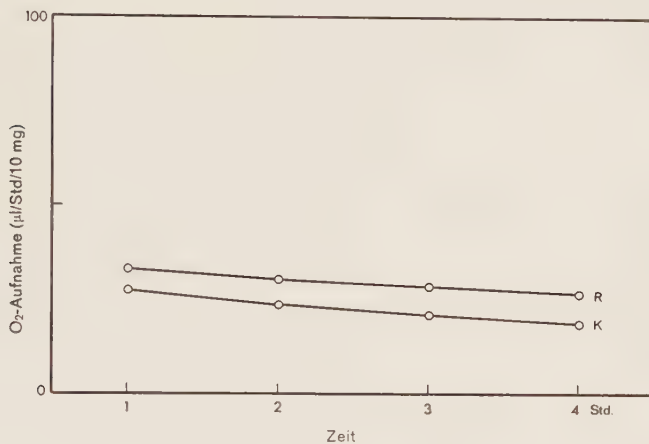


Abb. 6. Aerobe Atmung in Abhängigkeit von der Lichtquelle (s. Tab. 4) bei Tageslichtkulturen; O₂-Aufnahme, 10 mg Trockensubstanz/Gefäß, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase Luft. K = Kolbenkulturen; R = Röhrenkulturen.

Bei den Dauerlichtkulturen lassen sich erwartungsgemäß charakteristische Abänderungen nachweisen. Passagenalgen zeigen in beiden Jahren ein phasenverschobenes Maximum, während ein solches bei der Hydrogenase lediglich im ersten, bei der Photosynthese dagegen erstmals im zweiten Jahr auftritt. Schrägagarkulturen entsprechen diesem Intensitätsverhalten nicht. Für sie muß bezüglich des ersten Jahres ein auf die Übergangszeit (Juli -Oktober) ausgedehntes Maximum angenommen werden, ohne daß sich diese Abweichung statistisch sichern läßt. Die Interpretation des weiteren Verlaufs stößt auf Schwierigkeiten. Wir sehen in diesem Zeitabschnitt ein abermaliges Ausklingen der Rhythmik. Dauerlicht vermag die Atmung nur unwesentlich zu fördern (Tab. 2). In Kolben kultivierte Algen zeigen gegenüber Röhrenkulturen keine gesteigerte Intensität (Tab. 4; Abb. 6).

4. Nitrat- und Nitritreduktion

Nitrat-(NO_3R) und Nitritreduktion (NO_2R) zeigen eine spezifische pH-Abhängigkeit (KESSLER 1953; CZYGAN 1963). Während das Optimum der NO_3R am Neutralpunkt liegt, ist das der NO_2R in den sauren Bereich verschoben. Da unsere Messungen aber, in Übereinstimmung mit denen der Hydrogenase und der aeroben Atmung, bei pH 6,5 durchgeführt wurden, entsprechen die hier wiedergegebenen Werte nicht den Maximalleistungen der beiden Enzymsysteme. Unter diesen Bedingungen ergeben sich keine Aktivitätsunterschiede zwischen 5- und 7tägigen Kulturen.

Die wesentlichen Ergebnisse über die Jahresabhängigkeit der Nitrat- und Nitritreduktion fassen Abb. 7 a -c zusammen. Ergänzende Angaben finden sich in Tab. 8. Die NO_3R zeigt bei Tageslichtalgen das von Hydrogenase und Photosynthese bekannte Intensitätsgefälle, wobei sich wiederum ein Maximum zwischen März und Juni ausbildet. Das Minimum ist demgegenüber auf die Monate November bis Februar beschränkt. Auch im Falle der NO_3R erreicht das Maximum des 2. Jahres nicht mehr den Gipfel des vorangegangenen. Damit ergibt sich eine interessante Parallele zu der aeroben Atmung (Abb. 5). Die NO_2R wird in beiden Jahren durch ein phasenverschobenes Maximum (Juli—Oktober) charakterisiert. Außerdem übersteigt hier der Maximalwert im zweiten Jahr den der NO_3R um mehr als 500 %. Auf diese Erscheinung hat bereits CZYGAN (1963) bei *Ankistrodesmus braunii* hingewiesen. Unsere Versuche haben darüber hinaus gezeigt, daß derartige Leistungsdivergenzen keineswegs nur auf die „maximalen Bereiche“ (CZYGAN 1963) beschränkt bleiben, sondern ebenso innerhalb kürzerer Zeitintervalle auftreten können (Tab. 8). Ein weiterer Unterschied besteht offenbar hinsichtlich der NO_3R in der Streubreite der Extremwerte. CZYGAN (1963) gibt in Bezug auf den Untersuchungsabschnitt 1960—63 für *Ankistrodesmus braunii* etwa gleichgroße Leistungsamplituden an. Im Gegensatz dazu fanden wir bei unserem Versuchsobjekt für das Maximum einen Schwankungsbereich von 85 %. Bezüglich des Minimums gelten ähnliche Verhältnisse; die entsprechende Differenz beträgt sogar 170 %. Ein signifikanter Unterschied ergibt sich lediglich im zweiten Jahr (1966/67) für die NO_2R ($p < 0,0027$), während die NO_3R einen p-Wert von 0,028 aufweist. Trotzdem möchten wir auch hier für das Vorjahr aus den oben genannten Gründen eine zufällige Verteilung der Stichproben als nicht wahrscheinlich ansehen.

Dauerlichtalgen stimmen hinsichtlich des Aktivitätsverlaufes nicht mit Tageslichtkulturen überein. Die NO_3R zeigt bei Passagen-

algen während des ersten Jahres einen um 4 Monate verlagerten Gipfel (Juli—Oktober). Im zweiten Jahr klingt hier bereits die Rhythmik aus. Bei der NO_2R macht sich Dauerbelichtung erst nach 12 Monaten bemerkbar (phasenverschobenes Maximum). Damit bestehen erneute Anklänge an die Hydrogenase und Photosynthese (Abb. 1 b u. 3 b). Schrägagarkulturen verhalten sich abweichend.

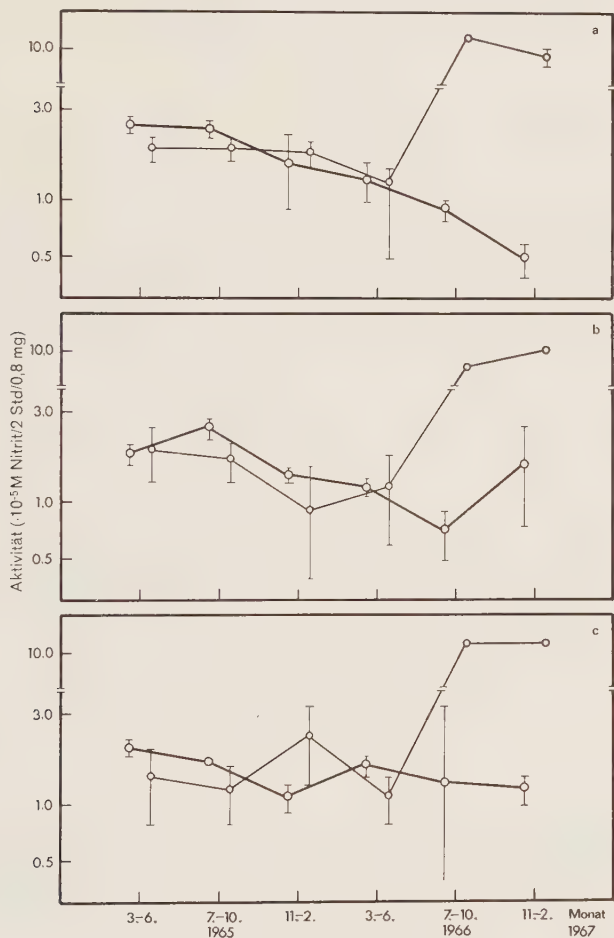


Abb. 7. Nitrat- und Nitritreduktion in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; Nitritkonzentration, 0,8 mg Trockensubstanz/ml, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase Luft; logarithmische Auftragung der Werte (= Mittelwerte aus 6 Einzelbestimmungen). a = Tageslichtkulturen: Schrägalgen; b = Dauerlichtkulturen: Passagenalgen; c = Dauerlichtkulturen: Schrägalgen. O=O Nitratreduktion, O-O Nitritreduktion.

Tabelle 8

Nitrat- und Nitritreduktion in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; Nitritkonzentration, 0,8 mg Trockensubstanz/ml, Phosphat-Puffer, pH 6,5, Gasphase Luft. A = Nitratreduktion: Aktivität ($\cdot 10^{-5}$ M Nitrit/2 Std); B = Nitritreduktion: Aktivität ($\cdot 10^{-5}$ M Nitrit/2 Std); C = Kulturwachstum (mg/10 ml).

Monat	Zeitpunkt Jahr	Nitrat- und Nitritreduktion					
		Tageslicht-Kulturen			Dauerlicht-Kulturen		
		Schrägaralgen			Passagaralgen		
		A	B	C	A	B	C
1965	Mrz.-Jun.	2,3 ± 0,1;	1,7 ± 0,2;	3,0	2,3 ± 0,2;	3,4 ± 0,2;	3,1
		1,7 ± 0,1;	1,8 ± 0,2;	3,8	1,7 ± 0,1;	0,9 ± 0,4;	3,7
		2,1 ± 0,1;	3,3 ± 0,1;	6,3	1,0	1,7 ± 0,3;	4,8
		2,2	1,9 ± 0,1;	4,9	2,8	0,9 ± 0,1;	2,3
		2,6	0,8	3,3	0,8	3,7 ± 0,1;	6,2
	Jul.-Okt.	4,0 ± 0,1;	1,7 ± 0,1;	5,1	1,9 ± 0,1;	0,5 ± 0,3;	2,2
		2,7 ± 0,1;	0,7 ± 0,1;	2,5	2,3 ± 0,1;	0,7 ± 0,1;	2,2
		2,3 ± 0,1;	1,4	2,9	3,1 ± 0,2;	0,8	1,9
		3,9 ± 0,1;	3,3 ± 0,2;	3,6	3,2	2,5 ± 0,3;	6,1
		2,1 ± 0,1;	2,6 ± 0,2;	7,1	1,3 ± 0,1;	0,7 ± 0,1;	5,1
1966	Nov.-Feb.	2,0 ± 0,1;	2,2 ± 0,1;	4,3	3,3	3,5 ± 0,3;	1,0
		1,2	1,3 ± 0,1;	7,3	1,3 ± 0,1;	2,0	6,5
		1,1 ± 0,1;	2,3 ± 0,1;	3,8	1,0	1,0	6,6
		2,9 ± 0,7;	1,5 ± 0,1;	1,7	2,4	0,8 ± 0,3;	5,4
		1,6	1,2	5,2	1,1 ± 0,1;	2,2	3,8
	Mrz.-Jun.	1,7 ± 0,1;	4,1 ± 0,1;	5,4	1,0	0,3 ± 0,1;	3,9
		1,1 ± 0,1;	1,1 ± 0,2;	4,0	1,8	0,8 ± 0,6;	3,5
		1,0	0,7 ± 0,1;	4,1	1,3 ± 0,1;	0,2 ± 0,1;	4,4
		1,3 ± 0,1;	2,2 ± 0,3;	2,9	0,6	0,4 ± 0,1;	6,9
		1,0	0,5 ± 0,2;	3,9	1,6	1,9 ± 0,1;	2,1
1967	Nov.-Feb.	1,5 ± 0,2;	1,3 ± 0,2;	2,9	1,5 ± 0,1;	1,2 ± 0,2;	2,1
		2,1 ± 0,2;	1,0 ± 0,1;	3,1	1,2	1,3 ± 0,1;	3,2
		0,8	0,7 ± 0,2;	4,8	1,6	1,5 ± 0,5;	2,6
		1,0	0,3 ± 0,2;	2,8	0,4	0,9 ± 0,1;	2,2
		1,1 ± 0,1;	7,1 ± 0,4;	2,5	0,3 ± 0,1;	4,3 ± 0,2;	3,1
	Jul.-Okt.	1,0	8,5 ± 0,5;	2,2	1,4	13,3 ± 0,2;	2,1
		0,8	13,8	3,4	1,1 ± 0,1;	0,7 ± 0,1;	2,2
		1,4	14,2	1,6	0,6	7,7 ± 0,2;	4,8
		0,6	13,2 ± 0,1;	4,2	0,8	14,4	2,8
		0,6	13,1 ± 0,1;	3,5	0,1 ± 0,1;	10,1 ± 0,1;	7,6
1968	Nov.-Feb.	1,7 ± 0,1;	6,1 ± 0,3;	3,0	1,6	14,2	3,6
		0,2	12,9 ± 0,1;	5,2	0,6	11,9 ± 0,3;	4,5
		0,4	8,1 ± 0,1;	4,5	5,1 ± 1,0;	1,7 ± 0,1;	7,5
		0,1 ± 0,1;	4,0 ± 0,6;	6,8	0,2	8,9 ± 0,5;	7,4
		0,4	12,1 ± 0,3;	4,7	0,2	9,7 ± 0,2;	5,0
	Jul.-Okt.	0,4	12,9 ± 0,1;	3,5	1,6	14,4	2,1
		0,4	12,9 ± 0,1;	3,5	1,6	14,4	2,1
		0,4	12,9 ± 0,1;	3,5	1,6	14,4	2,1
		0,4	12,9 ± 0,1;	3,5	1,6	14,4	2,1
		0,4	12,9 ± 0,1;	3,5	1,6	14,4	2,1

Der jahresbedingte Intensitätsabfall bleibt im Falle der NO_3R beide Jahre hindurch unverändert. Demgegenüber läßt sich dieser für die NO_2R schon im ersten Jahr nicht mehr nachweisen. Schließlich sei nochmals auf den Anstieg der NO_2R ab Juli 1966 hingewiesen, der sowohl Tages- als auch Dauerlichtkulturen betrifft und überraschend mit dem der Wachstumskurven zur Deckung gebracht werden kann (Abb. 8 a—c). Im Dauerlicht fanden wir keine Steigerung der Enzymaktivitäten (Tab. 2). Die in ERLÉNMEYER-Kolben kultivierten Tageslichtalgen reagierten ähnlich (Tab. 4).

5. Wachstum (Trockengewicht und Zellzahl)

Auch für die Wachstumsmessungen haben wir das einwöchige Intervall beibehalten. Unter Verwendung der empirisch gefundenen Ausgangskonzentration von 0,0008 mg Trockensubstanz pro ml entstammen sämtliche Meßpunkte der logarithmischen Wachstumsphase. Als begrenzender Faktor muß hier in erster Linie Stickstoffmangel betrachtet werden. Bei forciertem Wachstum dürfte ferner die gebotene Eisenmenge nicht ausreichend sein (Nachweis von Chlorose und Sekundär-Carotinoiden zwischen dem 15. und 20. Kulturtag).

Über die Jahresperiodik des Wachstums bei Tages- und Dauerlichtkulturen unterrichten Abb. 8 a—c. Einzelergebnisse können Tab. 9 entnommen werden. Alle Versuchsreihen zeigen gleiches Intensitätsverhalten, wobei das Maximum im ersten Jahr die Monate Juli bis Oktober umfaßt, während es im zweiten Jahr auf den Winter verschoben ist. Ähnliches gilt für das Minimum, welches im ersten Jahr zwischen November und Februar liegt, jedoch ein Jahr später auf den Zeitraum März—Juni fällt, wie durch ergänzende Messungen nachgewiesen werden konnte. Damit wird erstmalig das Prinzip der zeitlich stationären Lage der Extrembereiche durchbrochen. Auffallend erscheint der nahezu gleichsinnige Kurvenverlauf beider Wachstumskomponenten, obgleich unsere Versuche mit nichtsynchrone Kulturen ausgeführt wurden. Schließlich sei noch erwähnt, daß PIRSON u. GÖLLNER (1953) hinsichtlich des Wurzelwachstums bei *Lemna minor* zu entsprechenden Ergebnissen gelangten, wie sie hier das erste Jahr zeigt. Die Leistungsunterschiede erweisen sich aber auch in diesem Zeitabschnitt als nicht mehr signifikant. Im Dauerlicht wird das Wachstum der Passagenalgen begünstigt (Tab. 2). Kolbenkulturen wachsen gegenüber Röhrenalgen statistisch gesichert langsamer.

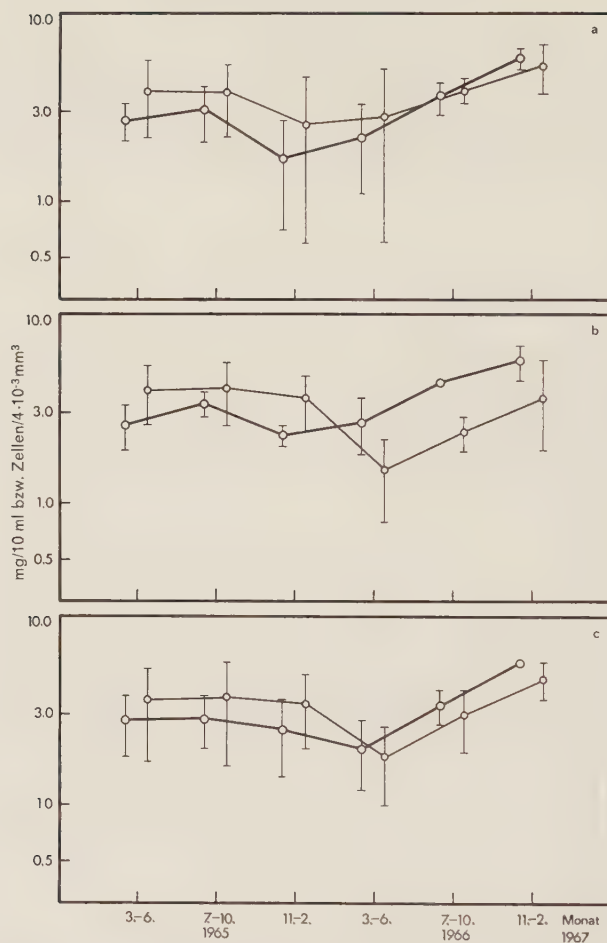


Abb. 8. Wachstum (Trockengewicht und Zellzahl) in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; Phosphat-Puffer, pH 6,5, Begasung mit Luft + 2 % CO₂; Ausgangskonzentration 0,0008 mg Trockensubstanz/ml, Kulturalter 7 Tage; logarithmische Auftragung der Werte (= Mittelwerte aus 6 Einzelbestimmungen). a = Tageslichtkulturen: Schrägagaralgen; b = Dauerlichtkulturen: Passagenalgen; c = Dauerlichtkulturen: Schrägagaralgen. O=O Trockengewicht, O-O Zellzahl.

Tabelle 9

Wachstum (Trockengewicht und Zellzahl) in Abhängigkeit von der Jahreszeit bei Tages- und Dauerlichtkulturen; Phosphat-Puffer, pH 6,5, Begasung mit Luft + 2% CO₂; Ausgangskonzentration 0,0008 mg Trockensubstanz/ml, Kulturalter 7 Tage. A = Trockengewicht (mg/10 ml); B = Zellzahl (Zellen/4 · 10⁻³ mm³); C = Vorkultur (mg/10 ml).

Zeitpunkt Jahr	Monat	Woche	Tageslicht-Kulturen			Dauerlicht-Kulturen		
			Schrägagaralgen			Passagenalgen		
			A	B	C	A	B	C
1965	Mrz.-Jun.	9.-11.	4,4 ± 0,2;	4,1 ± 0,6;	3,0	2,0 ± 0,3;	3,0 ± 0,7;	3,0
		12.-14.	1,2 ± 0,1;	2,0 ± 0,2;	3,8	3,1 ± 0,2;	7,4 ± 1,0;	3,9
		15.-17.	2,1 ± 0,1;	2,3 ± 0,2;	6,3	1,2 ± 0,3;	4,3 ± 0,5;	4,2
		18.-20.	2,0 ± 0,2;	5,1 ± 0,8;	4,9	4,7 ± 0,2;	1,2 ± 0,2;	2,5
		21.-23.	3,5 ± 0,1;	8,5 ± 1,2;	3,3	0,9 ± 0,4;	2,3 ± 0,1;	5,7
	Jul.-Okt.	24.-26.	3,0 ± 0,5;	1,4 ± 0,5;	5,1	3,8 ± 0,3;	5,9 ± 0,3;	1,9
		27.-29.	2,1 ± 0,4;	1,7 ± 0,1;	2,5	3,6 ± 0,3;	4,9 ± 0,3;	2,2
		30.-32.	1,8 ± 0,3;	4,7 ± 0,2;	2,9	1,9 ± 0,2;	3,1 ± 0,7;	2,3
		33.-35.	5,3 ± 0,8;	5,0 ± 0,7;	3,6	5,3 ± 0,3;	3,5 ± 0,2;	4,6
		36.-38.	3,1 ± 0,5;	3,6 ± 0,3;	7,1	3,8 ± 0,1;	7,7 ± 1,2;	5,0
1966	Nov.-Feb.	39.-41.	0,7 ± 0,1;	2,0 ± 0,5;	4,3	1,7 ± 0,2;	3,4 ± 0,3;	1,5
		42.-44.	5,6 ± 0,1;	5,8 ± 1,1;	7,3	3,9 ± 0,2;	2,1 ± 0,1;	6,7
		45.-47.	1,0 ± 0,1;	2,2 ± 1,2;	3,8	2,1 ± 0,1;	2,0 ± 0,2;	6,0
		48.-50.	0,9 ± 0,6;	2,8 ± 0,9;	3,8	1,6 ± 0,2;	4,5 ± 0,6;	5,3
		51.-1.	2,0 ± 0,6;	2,1 ± 0,4;	3,5	2,9 ± 0,1;	3,9 ± 0,1;	3,9
	Mrz.-Jun.	2.-4.	1,4 ± 0,1;	2,3 ± 0,5;	5,4	1,2 ± 0,1;	4,6 ± 0,8;	3,5
		5.-7.	2,5 ± 0,4;	1,2 ± 0,2;	4,0	2,8 ± 0,1;	1,0 ± 0,3;	3,1
		8.-10.	2,6 ± 0,4;	5,1 ± 1,2;	4,1	3,2 ± 0,1;	5,7 ± 0,6;	4,2
		11.-13.	2,1 ± 0,2;	4,2 ± 1,8;	2,9	1,7 ± 0,3;	0,9 ± 0,2;	6,7
		14.-16.	1,7 ± 0,4;	2,4 ± 0,6;	2,9	3,8 ± 0,5;	2,5 ± 0,5;	2,5
1967	Nov.-Feb.	17.-19.	2,2 ± 0,3;	3,2 ± 0,8;	2,9	2,1 ± 0,3;	1,9 ± 0,3;	2,4
		20.-22.	2,8 ± 0,5;	2,6 ± 0,5;	2,8	2,5 ± 0,5;	1,2 ± 0,1;	3,5
		23.-25.	1,2 ± 0,3;	1,6 ± 0,1;	4,2	2,2 ± 0,4;	1,1 ± 0,2;	2,9
		26.-28.	2,9 ± 0,8;	2,9 ± 0,4;	2,4	3,8 ± 0,2;	1,6 ± 0,1;	2,6
		29.-31.	1,7 ± 0,1;	3,9 ± 0,3;	2,5	4,2 ± 0,2;	2,2 ± 0,1;	3,0
	Jul.-Okt.	32.-34.	4,5 ± 0,2;	3,9 ± 0,2;	2,2	4,9 ± 0,1;	3,2 ± 0,2;	2,4
		35.-37.	2,6 ± 0,3;	1,5 ± 0,3;	3,4	1,1 ± 0,2;	2,1 ± 0,1;	2,1
		38.-40.	3,0 ± 0,4;	3,1 ± 0,2;	1,9	2,1 ± 0,1;	2,0 ± 0,1;	4,3
		41.-43.	4,2 ± 0,4;	4,5 ± 0,1;	4,3	6,8 ± 0,1;	2,9 ± 0,4;	2,8
		44.-46.	5,7 ± 0,1;	6,5 ± 0,2;	3,5	7,1 ± 0,2;	2,9 ± 0,4;	7,6
1967	Nov.-Feb.	47.-49.	3,6 ± 0,1;	5,0 ± 0,5;	3,0	4,1 ± 0,2;	2,8 ± 0,3;	9,0
		50.-52.	5,0 ± 0,3;	4,3 ± 1,2;	5,2	6,3 ± 0,9;	6,0 ± 1,7;	4,5
		1.-3.	5,8 ± 0,2;	4,6 ± 0,4;	4,5	8,1 ± 0,7;	3,1 ± 0,4;	7,5
		4.-6.	4,9 ± 0,2;	4,8 ± 0,4;	6,9	5,0 ± 0,4;	3,8 ± 0,2;	7,4
		7.-9.	9,4 ± 0,4;	6,8 ± 0,6;	4,9	4,7 ± 0,2;	3,1 ± 0,4;	4,3
		10.-12.	5,7 ± 0,4;	5,9 ± 0,1;	3,4	5,7 ± 0,2;	3,9 ± 0,4;	2,7

B. Zur Frage der Induktion der Jahresperiodik

Bezüglich der Frage nach der Induktion lieferten unsere jahresrhythmischen Aktivitätsmessungen einige Hinweise:

1. Alle hier getesteten Stoffwechselprozesse (H_2 -Stoffwechsel, Photosynthese, Atmung, Nitrat- und Nitritreduktion), einschließlich des Wachstums (Trockengewicht und Zellzahl), zeigen bei Tageslichtkulturen jahreszeitlich bedingte Intensitätsschwankungen.
2. Die Maxima und Minima der verschiedenen Stoffwechselaktivitäten fallen, von wenigen Ausnahmen (Nitritreduktion und Wachstum) abgesehen, während der 2jährigen Versuchszeit in den gleichen Jahresabschnitt.
3. Bereiche maximaler Aktivität finden sich zwischen März und Juni, diejenigen mit minimaler Leistung dagegen von November bis Februar.
4. Dauerlichtkulturen entsprechen in ihrem Aktivitätsverhalten nicht dem der Tageslichtalgen.

Aus diesen Gründen und angesichts der Tatsache, daß unsere Versuche stets unter konstanten Bedingungen durchgeführt wurden, lag die Vermutung nahe, daß auch bei diesen einzelligen Mikroorganismen jahresperiodische Aktivitätsschwankungen durch die Tageslänge induziert werden. Wir haben deshalb die Angaben über die Tageslänge (ohne Einbeziehung der „Bürgerlichen Dämmerung“¹), die wir täglich der Wetterkarte des Wetteramtes Nürnberg entnahmen, analog den Stichproben aus unseren Messungen gehandhabt (durchschnittliche Tageslänge: März—Juni 14,3, Juli—Oktober 13,4 und November—Februar 9,0 Std.). Anschließend ist versucht worden, zwischen Tageslänge und den einzelnen Stoffwechselprozessen sowie dem Wachstum einen positiven Korrelationskoeffizienten zu bestimmen (Abb. 9 a—g; Tab. 10). Dabei fanden wir, daß in 4 Fällen (H_2 -Stoffwechsel, Photosynthese, Atmung, Nitratreduktion) eine lineare Korrelation zwischen Tageslänge und Aktivität besteht. Da unsere Versuchsanordnung die Auffindung der kritischen Tageslänge nicht gestattet, letztere aber für die Identifizierung als Zeitgeber unabdingbare Voraussetzung ist (BÜNNING

¹ „Als bürgerliche Dämmerung, auch Büchsenlicht genannt, bezeichnet man die Zeit nach Untergang oder vor Aufgang der Sonne, in der gerade noch oder schon gelesen werden kann. Sie reicht bis zu einem Sonnenstand von 6° bis 7° unter dem Horizont“ (NEEF 1966).

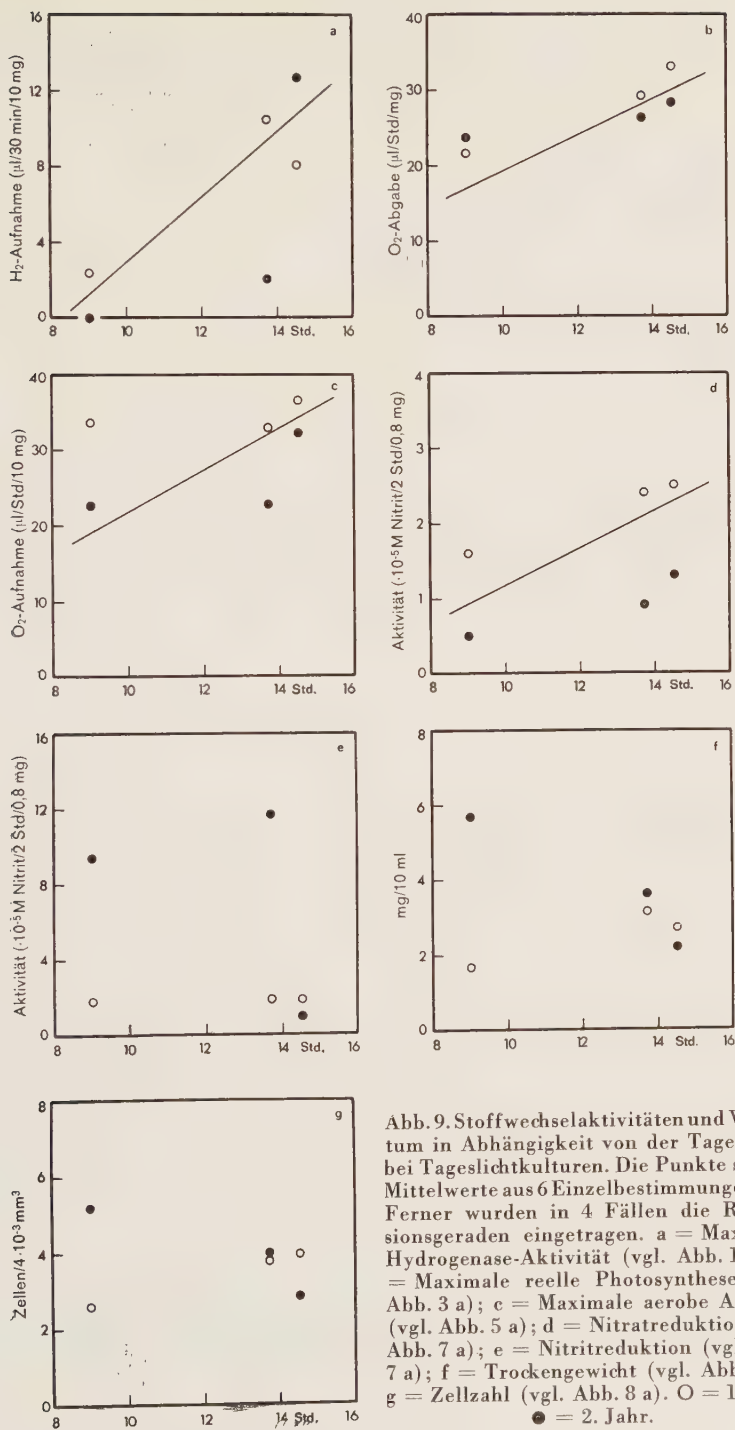


Abb. 9. Stoffwechselaktivitäten und Wachstum in Abhängigkeit von der Tageslänge bei Tageslichtkulturen. Die Punkte stellen Mittelwerte aus 6 Einzelbestimmungen dar. Ferner wurden in 4 Fällen die Regressionsgeraden eingetragen. a = Maximale Hydrogenase-Aktivität (vgl. Abb. 1 a); b = Maximale reelle Photosynthese (vgl. Abb. 3 a); c = Maximale aerobe Atmung (vgl. Abb. 5 a); d = Nitratreduktion (vgl. Abb. 7 a); e = Nitritreduktion (vgl. Abb. 7 a); f = Trockengewicht (vgl. Abb. 8 a); g = Zellzahl (vgl. Abb. 8 a). O = 1. Jahr, ● = 2. Jahr.

Tabelle 10

Stoffwechselaktivitäten und Wachstum in Abhängigkeit von der Tageslänge bei Tageslichtkulturen (als Korrelationskoeffizient angegeben).

Korrelationskoeffizient	
Tageslänge-Hydrogenase-Aktivität	+ 0,953
Tageslänge-Reelle Photosynthese	+ 0,978
Tageslänge-Aerobe Atmung	+ 0,630
Tageslänge-Nitratreduktion	+ 0,987
Tageslänge-Nitritreduktion	— 0,447
Tageslänge-Trockengewicht	— 0,797
Tageslänge-Zellzahl	— 0,620

1963), muß das obige Ergebnis zum gegenwärtigen Zeitpunkt als bloße Arbeitshypothese betrachtet werden, wenn auch schon im Dauerlicht verschiedentlich eine Aktivitätssteigerung beobachtet wurde (Hydrogenase, Atmung, Wachstum).

C. Nichtjahresperiodische Aktivitätsschwankungen

Nichtjahresperiodische Aktivitätsschwankungen wurden bereits ausführlich beschrieben (Literatur s. Einleitung). Auch wir konnten diese Erscheinung an unserer Alge beobachten. Es zeigte sich jedoch, daß derartige Aktivitätsunterschiede keineswegs nur zwischen 3wöchentlichen Messungen auftreten (Tab. 1, 6, 7, 8 u. 9), sondern auch schon im Laufe einer Woche von Tag zu Tag sichtbar werden (Tab. 11). Dabei ergaben sich vereinzelt Leistungsdifferenzen bis zu 100 % und darüber (Tab. 11: Hydrogenase-Aktivität, Nitrat- u. Nitritreduktion). Vergleichsweise zeigt Tab. 12 das Ausmaß der Streuung innerhalb 10 parallel angesetzter Kulturröhren bei den verschiedenen Stoffwechselprozessen sowie dem Wachstum. Wir glaubten zunächst, daß kosmische Faktoren (Sonnenfleckentätigkeit, Sonneneruptionen) in Verbindung mit der atmosphärischen Zirkulation (Luftdruck, Beta-Gesamtaktivität der Luft) über das Wachstum unmittelbaren Einfluß auf den Aktivitätsgrad ausüben. Diese Vermutung hat sich nicht bestätigen lassen (Tab. 1, 6, 7, 8 u. 9). Ebensowenig besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der je-

T a b e l l e 11

Nichtjahresperiodische Schwankungen von Stoffwechselprozessen und Wachstum bei Tageslichtkulturen. Meßeinheiten: Hydrogenase-Aktivität s. Tab. 1 (A, B); Reelle Photosynthese s. Tab. 6 (A, B); Aerobe Atmung s. Tab. 7 (A); Nitrat- und Nitritreduktion s. Tab. 8 (A, B); Wachstum s. Tab. 9 (A-C).

Zeitpunkt	Hydrogenase-Aktivität	Reelle Photosynthese	Aerobe Atmung
J a h r	Tageslicht-Kulturen		
Tag/Monat	Schrägagaralgen		
	A B	A B	A
1. 4. 1967	21,7 ± 0,6; 20	23,5 ± 0,4; 60	25,6 ± 0,4
2. 4. 1967	0,6 ± 0,4; 25	24,6 ± 0,4; 120	24,7 ± 0,5
3. 4. 1967	— —	27,3 ± 0,2; 60	23,8 ± 0,3
4. 4. 1967	— —	26,1 ± 1,0; 120	30,0 ± 0,4
5. 4. 1967	— —	23,6 ± 0,7; 90	27,7 ± 0,4
6. 4. 1967	— —	22,8 ± 0,5; 30	24,8 ± 0,6
7. 4. 1967	— —	25,7 ± 0,3; 30	23,5 ± 0,3
Zeitpunkt	Nitratreduktion	Nitritreduktion	Wachstum
	A	A	A B C
1. 4. 1967	4,2 ± 0,1	9,2 ± 0,4	4,6 ± 0,3; 5,9 ± 0,2; 3,8
2. 4. 1967	3,2	9,6 ± 0,6	4,0 ± 0,2; 5,8 ± 0,8; 4,7
3. 4. 1967	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0,5	4,1 ± 0,1; 5,6 ± 0,6; 3,2
4. 4. 1967	0,8	0,8 ± 0,2	3,4 ± 0,7; 4,2 ± 0,5; 5,0
5. 4. 1967	0,9 ± 0,1	1,1 ± 0,2	5,2 ± 0,8; 6,9 ± 0,1; 4,4
6. 4. 1967	1,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	4,8 ± 0,8; 6,5 ± 1,0; 4,7
7. 4. 1967	1,8	0,3 ± 0,2	5,7 ± 0,5; 8,0 ± 0,9; 5,2

weiligen Intensität und den oben aufgeführten Faktoren², wie ihn inzwischen mehrere Autoren bei verschiedenen Objekten nachgewiesen haben (BORTELS 1951, 1955; SCHWEMMLE u. FISCHER 1963; BREZOWSKY 1964; KISS 1957, 1958, 1959 a, b, 1960, 1961, 1962, 1964). Es ist daher wahrscheinlich, daß *Chlorella fusca* während der Entwicklung zu einem bestimmten Zeitpunkt (möglicherweise in einer „sensiblen Phase“) atmosphärische Reize perzipiert, wonach diese

² Herrn Prof. Dr. KIEPENHEUER danken wir für die Zusendung der „Map of the sun“ aus dem Fraunhofer-Institut in Freiburg, Herrn RUPP für die Überlassung der Daten über die von der Firma FRIESEKE & HOEPFNER, Erlangen, durchgeführten Messungen der Beta-Gesamtaktivität der Luft.

Information, analog den Angaben über die Tageslänge, auf die Tochterindividuen übertragen wird. Eine derartige Hypothese könnte aber nur an synchronen Kulturen auf ihre Gültigkeit geprüft werden. Auffällig ist auch hier die erhöhte Wachstumsrate bei labiler Wetterlage, über die schon KISS (1957—64) berichtete. Inwieweit die ab 1966 zunehmende Sonnenflecken-tätigkeit und die offenbar teilweise damit parallel verlaufende Erhöhung der Beta-Gesamtaktivität der Luft das Aktivitätsgeschehen zusätzlich überlagern (vgl. BREZOWSKY 1964), kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

Tabelle 12

Streuung (als einfacher mittlerer Fehler des Mittelwertes angegeben) innerhalb 10 parallel angesetzter Kulturröhrchen bei verschiedenen Stoffwechselprozessen sowie dem Wachstum von Tageslichtkulturen.

Stoffwechselprozesse u. Wachstum	
	Tageslicht-Kulturen
	Schrägagaralgen
Stoffwechselprozesse:	
Hydrogenase-Aktivität ($\mu\text{l H}_2/30 \text{ min}/10 \text{ mg}$)	$58,3 \pm 5,7$
Reelle Photosynthese ($\mu\text{l O}_2/\text{Std}/\text{mg}$)	$25,7 \pm 0,3$
Aerobe Atmung ($\mu\text{l O}_2/\text{Std}/10 \text{ mg}$)	$27,7 \pm 0,3$
Nitratreduktion ($\cdot 10^{-5} \text{ M Nitrit}/2 \text{ Std}/0,8 \text{ mg}$)	1,8
Nitritreduktion ($\cdot 10^{-5} \text{ M Nitrit}/2 \text{ Std}/0,8 \text{ mg}$)	$5,2 \pm 0,2$
Wachstum:	
a) Trockengewicht ($\text{mg}/10 \text{ ml}$)	$4,0 \pm 0,2$
b) Zellzahl (Zellen/ $4 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3$)	$7,9 \pm 1,2$

IV. Diskussion

Noch bis vor kurzem waren jahresperiodische Aktivitätsschwankungen bei einzelligen Grünalgen weitgehend unbekannt, wenn auch schon frühzeitig der Verdacht geäußert wurde, daß bei diesen Mikroorganismen ebenfalls mit ausgeprägten Jahresrhythmen zu rech-

nen ist. Durch Einzeluntersuchungen konnte diese Vermutung bereits bestätigt werden (KESSLER u. LANGNER 1962; KESSLER u. CZYGAN 1963; CZYGAN 1963; KNOBLOCH 1966; weitere Literatur s. Einleitung). Doch schien es uns wünschenswert zu prüfen, inwieweit den verschiedenen Stoffwechselprozessen (einschließlich des Wachstums) ein einheitliches Konzept, d. h. ein gleicher Aktivitätsverlauf sowie ein gleicher Zeitgeber, zugrunde liegt. Wir wählten für unsere Jahresrhythmikversuche bewußt einige derjenigen Reaktionen aus, die heute in der biochemischen und physiologischen Forschung von besonderem Interesse sind. Dazu gehören neben Photosynthese und Atmung die Nitrat- und Nitritreduktion sowie der Stoffwechsel des molekularen Wasserstoffs.

Aus den 2jährigen Untersuchungen ging hervor, daß sämtliche Stoffwechselprozesse, unter Einschluß des Wachstums, bei „Tageslichtkulturen“³ jahresperiodische Intensitätsschwankungen zeigen. Dabei fanden wir, daß die Maxima und Minima der verschiedenen Aktivitäten fast ausnahmslos zeitlich zusammenfallen (Maxima: März—Juni; Minima: November—Februar).

Eine hochsignifikante Sicherung dieser Differenzen ist zwar nur im zweiten Jahr für die Nitritreduktion möglich (s. S. 21), doch unterschreitet in allen übrigen Fällen der p-Wert bei weitem das 1 Sigma-Niveau (was häufig in der angloamerikanischen Literatur bereits als schwach signifikant angesehen wird!), so daß hier eine zufällige Verteilung der Stichproben nicht sehr wahrscheinlich ist.

Lediglich die Nitritreduktion und das Wachstum wiesen ein abweichendes Verhalten auf, indem sie ihre Höchstleistung erst zwischen Juli und Oktober erreichten. Im zweiten Jahr verschob sich dieser Maximalbereich für das Wachstum sogar um weitere 4 Monate auf den Zeitraum November bis Februar. Bezüglich der Nitritreduktion wäre ein Maximum im Juli denkbar, wie es KESSLER u. CZYGAN (1963) und CZYGAN (1963) bei *Ankistrodesmus braunii* für die Nitrat- und Nitritreduktion nachgewiesen haben. Doch erlaubt die Anzahl der vorliegenden Stichproben keine Detailangaben für die einzelnen Monate.

Beiläufig stellten wir fest, daß mehrere Aktivitäten eine auffällige Abhängigkeit von den Emissionsspektren der installierten Lichtquellen zeigen. Diese Leistungsdiskrepanz konnte im Falle von Hydrogenase und Photosynthese durch EDTA(Äthylendiamintetraessigsäure, Titriplex III)-Zusatz kompensiert werden,

³ Algen, deren Versuchskulturen unter konstanten Bedingungen gehalten wurden, deren Schrägagar-Stammkulturen aber an einem Südfenster stehend dem Tag-Nacht-Wechsel ausgesetzt waren.

doch sind diese Untersuchungen noch nicht abgeschlossen. Mit Sicherheit läßt sich sagen, daß die verwendeten Leuchtstoffröhren (Tab. 4) hinsichtlich ihrer spektralen Strahldichtevertelung dem Wirkungsspektrum der Chlorophyllsynthese weitgehend entsprechen (vgl. SCHOSER 1966). Es sind allerdings Anzeichen dafür vorhanden, daß in Phasen gesteigerter Aktivität die Chlorophyllsynthese der erhöhten Wachstumsrate nicht zu folgen vermag.

Die bei „Tageslichtalgen“ nachgewiesene Jahresperiodizität des Stoffwechsels und des Wachstums läßt den Schluß zu, daß derartige Organismen die Tageslänge im Stadium der Agarkultur zu messen und diese Information auf die nachfolgenden, in Lösung und unter völlig konstanten Bedingungen herangezogenen Generationen zu übermitteln vermögen. In welcher Form dies geschieht, bleibt vorläufig unklar. Möglicherweise könnte dieser Fragenkomplex durch Untersuchungen an synchronen Kulturen einer Klärung näher gebracht werden. Wir glauben jedoch, Hinweise dafür erhalten zu haben, daß die Weitergabe dieser Informationen nur dann gewährleistet ist, wenn den Algen im Laufe ihrer Entwicklung eine ausreichend lange „sensible Phase“ zur Verfügung steht, in der atmosphärische, aber möglicherweise auch kosmische Reize perzipiert werden. Diese Bedingungen sind offenbar nur auf Schrägagar gegeben.

„Tages“- und „Dauerlichtkulturen“⁴ stimmten in ihrem jahresperiodischen Aktivitätsverlauf nicht überein. Hiervon war lediglich das Wachstum ausgenommen. Aber auch „Passagen“- und „Schrägagaralgen“⁴ divergierten in ihrem Verhalten gegenüber Dauerlicht. Letzteres Ergebnis mußte erwartet werden, wenn die oben entwickelte Hypothese („sensible Phase“ für eine Perzeption verschiedenartiger Reize und deren Weitergabe an die Tochterindividuen) allgemeine Gültigkeit besitzen sollte. Tatsächlich konnten wir zeigen, daß Dauerlicht die Rhythmik bei „Schrägagaralgen“ in der Regel schneller zum Ausklingen bringt, als dies bei „Passagenalgen“ der Fall ist. Lediglich die Nitratreduktion und das bereits erwähnte Wachstum (Trockengewicht und Zellzahl) ließen sich nicht in dieses Schema einfügen (Tab. 13). Bezüglich des Wachstums dürfte die früheste Beeinflussung nach den Ergebnissen von BORNKAMM (1966) an *Lemna minor* im 3. Jahr erwartet werden. Die Tatsache, daß „Passagenalgen“ auf Dauerlicht zunächst mit einem phasenverscho-

⁴ 2 Versuchsansätze: a) Algen, deren Versuchs- und Schrägagar-Stammkulturen unter konstanten Bedingungen gehalten wurden = „Schrägagaralgen“; b) Algen, deren Versuchskulturen ebenfalls unter konstanten Bedingungen gehalten wurden, denen aber die eingeschobene Agar-Phase fehlte = „Passagenalgen“.

Tabelle 13

Einfluß von Dauerlicht (4 000 Lux) auf jahresperiodische Aktivitätsschwankungen bei Passagen- (P) und Schrägagaralgen (Sch) im Vergleich zu Tageslichtkulturen (Definitionen im Text). + = phasenverschobenes Maximum; — = Ausklingen der Rhythmik; / = kein Einfluß feststellbar.

	1. Jahr		2. Jahr	
	P	Sch	P	Sch
Hydrogenase	+	—	—	—
Photosynthese	/	/	+	—
Atmung	+	+	+	—
Nitratreduktion ..	+	/	—	/
Nitritreduktion	/	—	+	—
Wachstum	/	/	/	/

benen Aktivitätsmaximum reagierten, was für „Schrägagaralgen“ als Ausnahme nur im Falle der Atmung zutraf, berechtigt zu der Annahme, daß der ursprünglich von „Tageslichtkulturen“ ausgegangene Impuls bei dieser Versuchsreihe mindestens für ein Jahr intensitätsbestimmend bleibt, wobei sich dessen schwindender Einfluß in der zunehmenden „Zeitungleichheit“ (= Nachgehen der „Physiologischen Uhr“) bemerkbar macht. Erst in dieser Übergangsphase gewinnt Dauerlicht an Einfluß, was dann im 2. Jahr durch ein Ausklingen der Rhythmik angezeigt wird. Ähnliche Verhältnisse gelten auch für Tagesrhythmen (BÜNNING 1963). Somit lassen sich die hier getesteten Stoffwechselprozesse und das Wachstum, wenn man „Passagen“- und „Schrägagaralgen“ zu „Dauerlichtkulturen“ zusammenfaßt, in eine Reihe steigender Beeinflussung durch Dauerlicht ordnen (bezogen auf eine 2jährige Versuchsdauer!): Wachstum — Photosynthese — Nitrat- und Nitritreduktion — Atmung — Hydrogenase.

Das Problem der Synchronisation jahresperiodischer Intensitätsänderungen konnte im Rahmen dieser Arbeit nur auf indirektem Wege angegangen werden, da uns die entscheidenden Licht-Dunkel-Versuche zwecks Ermittlung der kritischen Tageslänge zur Beantwortung dieses Fragenkomplexes fehlten. Auffällig ist aber, daß verschiedene Aktivitäten mit der Tageslänge korrelieren (Hydrogenase, Photosynthese, Atmung, Nitratreduktion). Trotzdem

darf aus diesem Befund noch nicht auf eine Synchronisation durch die Tageslänge geschlossen werden, wenn auch gelegentlich eine Steigerung der Aktivitäten im Dauerlicht (das BORNKAMM, 1966, als extreme Verlängerung der Tageslänge ansieht) festgestellt worden ist (Hydrogenase, Atmung, Wachstum). Angesichts der Tatsache, daß unser Versuchsobjekt unter konstanten Bedingungen gehalten wurde, liegt bei „Tageslichtkulturen“ eine Induktion der Jahresperiodik durch die Tageslänge durchaus im Bereich des Möglichen.

Unsere Versuche haben ferner ergeben, daß die bei *Chlorella fusca* aufgefundene Jahresperiodizität der Stoffwechselaktivitäten einschließlich des Wachstums von nichtjahresrhythmischen Schwankungen überlagert wird (vgl. KNOBLOCH 1966). Wir beobachteten wöchentliche Leistungsdifferenzen der Hydrogenase-Aktivität sowie der Nitrat- und Nitritreduktion bis über 100 %. Diese Intensitätsunterschiede ließen sich im Falle des Wachstums bei zyklonaler Wetterlage besonders gut nachweisen, womit die Ergebnisse von KISS (1957—64) eine Bestätigung erfahren. Schließlich dürften auch hier die Beta-Gesamtaktivität der Luft sowie die Sonnenflecktätigkeit in übergeordneter Funktion das Aktivitätsgeschehen zusätzlich beeinflussen (vgl. SCHWEMMLE u. FISCHER 1963; BREZOWSKY 1964).

Die vorliegenden Befunde gewähren auch Einblick in die Problematik eines Vergleiches biochemischer Resultate aus verschiedenen Aktivitätsstadien der Algen (vgl. CZYGAN 1963). Für ein derartiges Vorhaben wird künftig die vorherige Prüfung auf eine etwa vorhandene Jahresperiodik notwendig sein.

V. Zusammenfassung

1. Einige grundlegende Stoffwechselvorgänge (H_2 -Stoffwechsel, Photosynthese, Atmung, Nitrat- und Nitritreduktion sowie das Wachstum) zeigen bei „Tageslichtkulturen“⁵ jahresperiodische Aktivitätsschwankungen.

2. Von wenigen Ausnahmen abgesehen (Nitritreduktion, Wachstum) fallen die Extrembereiche der verschiedenen Stoffwechselaktivitäten zeitlich zusammen.

3. Die Maxima liegen zwischen März und Juni, die Minima von November bis Februar.

⁵ Algen, deren Versuchskulturen unter konstanten Bedingungen gehalten wurden, deren Schrägagar-Stammkulturen aber an einem Südfenster stehend dem Tag-Nacht-Wechsel ausgesetzt waren.

4. Nitritreduktion und Wachstum weisen phasenverschobene Maximalbereiche auf (Juli—Oktober). Für das Wachstum verschiebt sich im 2. Jahr das Maximum um weitere 4 Monate auf den Zeitraum November—Februar. Gleiches trifft für das Minimum zu.

5. Der für „Tageslichtkulturen“ aufgefundene Aktivitätsverlauf erfährt bei „Dauerlichtalgen“⁶ typische Abweichungen (phasenverschobenes Maximum, Ausklingen der Rhythmik). Die Induktion der Jahresrhythmik muß demnach im Stadium der Schrägagar-Stammkulturen erfolgen und anschließend auf die in Nährlösung unter konstanten Bedingungen herangezogenen Versuchsalgen übertragen werden.

6. Die Stoffwechselaktivitäten der Hydrogenase, Photosynthese, Atmung und Nitratreduktion korrelieren bei „Tageslichtkulturen“ mit der Tageslänge. Eine Synchronisation durch letztere wird nicht ausgeschlossen, wenn auch die erforderlichen Licht-Dunkel-Versuche noch ausstehen.

7. Die Jahresperiodizität der Stoffwechselprozesse wird von nichtjahresrhythmischen Schwankungen überlagert, die im Falle des Wachstums bei zyklonaler Wettertätigkeit deutlich zutage treten. Eine zusätzliche Beeinflussung durch die Beta-Gesamtaktivität der Luft sowie durch Sonnenflecktätigkeit ist wahrscheinlich.

8. Auf die Problematik des Vergleiches biochemischer Daten aus verschiedenen Aktivitätsstadien der Algen wird hingewiesen.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. E. KESSLER, danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für seinen Rat während der Untersuchungen. Außerdem gebührt mein Dank Herrn Prof. Dr. W. HAUPT sowie Herrn Dr. F. W. BENTRUP für wertvolle Diskussionen über Möglichkeiten einer statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sind wir für Sachbeihilfen zu Dank verpflichtet.

VI. Literatur

- BORNKAMM, R.: Ein Jahresrhythmus des Wachstums bei *Lemna minor* L. *Planta* 69, 178—186 (1966).
- BORTELS, H.: Beziehungen zwischen Witterungsablauf, physikalisch-chemischen Reaktionen, biologischen Geschehen und Sonnenaktivität. *Naturwiss.* 38, 165—176 (1951).

⁶ 2 Versuchsansätze: a) Algen, deren Versuchs- und Schrägagar-Stammkulturen unter konstanten Bedingungen gehalten wurden; b) Algen, deren Versuchskulturen ebenfalls unter konstanten Bedingungen gehalten wurden, denen aber die eingeschobene Agar-Phase fehlte.

- Mikrobiologie und Witterungsablauf. Zentralblatt für Bakteriologie. 155, 160 bis 170 (1955).
- BREZOWSKY, H.: Über die Beeinflussung der Samenkeimung durch atmosphärische Vorgänge. Arch. Met. Geoph. Biokl. 13, 521—530 (1964).
- BÜNNING, E.: Entwicklungs- und Bewegungsphysiologie der Pflanze, 3. Aufl., Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953.
- Die physiologische Uhr, 2. Aufl., Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1963.
- CZYGAN, F.-C.: Untersuchungen über die Nitratreduktion der Grünalge *Ankistrodesmus braunii* in vivo und in vitro. Planta 60, 225—242 (1963).
- DERSCH, G.: Mineralsalz-mangel und Sekundär-carotinoide in Grünalgen. Flora 149, 566—603 (1960).
- FOTT, B. and M. NOVÁKOVÁ: A monograph of the genus *Chlorella*. The fresh water species. In: Studies in Phycology; B. FOTT, Ed., Verlag Akad. Wissensch., Prag 1968.
- GORJUNOVA, S. V. u. M. V. NASONOVA: Die Erscheinung der jahreszeitlichen Periodizität des Wachstums und der Entwicklung bei einzelligen Grünalgen. Mikrobiologiya 24, 193—198 (1955).
- HASELOFF, O. u. H. J. HOFFMANN: Kleines Lehrbuch der Statistik, 2. Aufl., De Gruyter & Co., Berlin 1965.
- KESSLER, E.: Über den Mechanismus der Nitratreduktion von Grünalgen. I. Nitritbildung und Nitritreduktion durch *Ankistrodesmus braunii* (Nägeli) Brunnthaler. Flora 140, 1—38 (1953).
- Stoffwechselphysiologische Untersuchungen an Hydrogenase enthaltenden Grünalgen. II. Dunkel-Reduktion von Nitrat und Nitrit mit molekularem Wasserstoff. Arch. Mikrobiol. 27, 166—181 (1957).
- Physiologische und biochemische Beiträge zur Taxonomie der Gattung *Chlorella*. I. Säureresistenz als taxonomisches Merkmal. Arch. Mikrobiol. 52, 291—296 (1965).
- Physiologische und biochemische Beiträge zur Taxonomie der Gattung *Chlorella*. III. Merkmale von 8 autotrophen Arten. Arch. Mikrobiol. 55, 346—357 (1967).
- and F.-C. CZYGAN: Seasonal changes in the nitrate-reducing activity of a green alga. Experientia 19, 89—90 (1963).
- u. F.-C. CZYGAN: *Chlorella zofingiensis* Dönn: Isolierung neuer Stämme und ihre physiologisch-biochemischen Eigenschaften. Ber. dtsch. bot. Ges. 78, 342 bis 347 (1965).
- u. W. LANGNER: Jahresperiodische Aktivitätsschwankungen bei einer *Chlorella*. Naturwiss. 49, 331—332 (1962).
- W. LANGNER, I. LUDEWIG u. H. WIECHMANN: Bildung von Sekundär-Carotinoiden bei Stickstoffmangel und Hydrogenase-Aktivität als taxonomische Merkmale in der Gattung *Chlorella*. In: Studies on Microalgae and Photosynthetic Bacteria, p. 7—20. Tokyo 1963.
- u. H. MAIFARTH: Vorkommen und Leistungsfähigkeit von Hydrogenase bei einigen Grünalgen. Arch. Mikrobiol. 37, 215—225 (1960).
- KISS, I.: Meteorological analysis of algal bloom on Lake Balaton. Annal. Inst. Biol. (Tihany) Hung. Acad. Scient. 24, 93—101 (1957).
- Meteorobiologische Analyse der im Park des biologischen Forschungsinstitutes (Tihany) im Jahre 1933 beobachteten *Euglena*-Wasserblüte. Annal. Inst. Biol. (Tihany) Hung. Acad. Scient. 25, 251—255 (1958).

- Die Vermehrung (Massenproduktion) der pflanzlichen Mikroorganismen als Bioindikatorerscheinung. *Biológiai Közlemények* 6, 111—118 (1959 a).
 - Synoptische meteorobiologische Analyse der Massenproduktion einiger pflanzlicher Mikroorganismen. *Acta Biologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 9, 317—342 (1959 b).
 - Eine nachträgliche synoptisch-meteorobiologische Untersuchung der Gametenbildung und geschlechtlichen Vermehrung von *Eudorina illinoisensis*. *Botanikai Közlemények* 48, 224—227 (1960).
 - A synoptic meteorological analysis on plant microorganisms with special reference to the form variations of *Lepocinclis fusiformis*. *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* 7, 81—92 (1961).
 - Biosynoptische Analyse eines auffallenden Falles der Meteoropathie auf Grund einer früheren Untersuchung von R. MAUCHA. *Különnyomat a Szegedi Pedagógiai Főiskola Evkönyvéből*, 29—43 (1962).
 - Angehäufte Erscheinung der Massenproduktion der *Volvocales*- und *Euglena*-Arten zwischen der Duna und der Tisza in einer Periode des „freien Föhns“ und der „Schirokko-Lage“. *Különnyomat a Szegedi Tanárképző Főiskola Tudományos Közleményeiből*, 3—23 (1964).
- KNOBLOCH, K.: Photosynthetische Sulfid-Oxydation grüner Pflanzen. I. Mitteilung. *Planta* 70, 73—86 (1966).
- KOELLE, O.: Manometrie. B. Braun Apparatebau Messungen (1966).
- KOTAKA, S., A. P. KRUEGER and P. C. ANDRIESE: Some observations on air-ion-enhanced iron chlorosis in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings. *Plant Cell Physiol.* 6, 233—245 (1965 a).
- Effect of air ions on IAA content of barley seedlings. *Plant Cell Physiol.* 6, 711—719 (1965 b).
 - Air ion effects on the oxygen consumption of barley seedlings. *Nature* 208, 1112—1113 (1965 c).
- KREBS, A. H.: Allgemeine Methoden des Stoff- und Energiwechsels. I. Stoffwechsel der Zellen und Gewebe. In: PÉTERFI, Methodik der wissenschaftlichen Biologie, 2. Bd., 1048—1084, Springer, Berlin 1928.
- KREYSZIG, E.: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1965.
- KRUEGER, A. P., J. C. BECKETT, P. C. ANDRIESE and S. KOTAKA: Studies on the effects of gaseous ions on plant growth. II. The construction and operation of an air purification unit for use in studies on the biological effects of gaseous ions. *J. Gen. Physiol.* 45, 897—904 (1962 a).
- S. KOTAKA and P. C. ANDRIESE: Studies on the effects of gaseous ions on plant growth. I. The influence of positive and negative air ions on the growth of *Avena sativa*. *J. Gen. Physiol.* 45, 879—895 (1962 b).
 - Some observations on the physiological effects of gaseous ions. *Int. J. Biometeor.* 6, 33—48 (1962 c).
 - A study of the mechanism of air-ion-induced growth stimulation in *Hordeum vulgare*. *Int. J. Biometeor.* 7, 17—25 (1963 a).
 - Gaseous-ion-induced stimulation of Cytochrome c biosynthesis. *Nature* 200, 707—708 (1963 b).
 - Studies on air-ion-enhanced iron chlorosis. I. Active and residual iron. *Int. J. Biometeor.* 8, 5—16 (1964 a).
 - The effect of air containing O_2^- , O_2^+ , CO_2^- and CO_2^+ on the growth of seedlings of *Hordeum vulgare*. *Int. J. Biometeor.* 8, 17—25 (1964 b).

- The effect of abnormally low concentrations of air ions on the growth of *Hordeum vulgare*. Int. J. Biometeor. 9, 201—209 (1965).
- Studies on the biological effects of gaseous ions. A review. Some physiological and pathological effects of gaseous ions. Special Monograph Series, Volume I, Leiden, 8 March 1966.
- KUMMEROW, J.: Endogen-rhythmische Schwankungen der Keimfähigkeit von Samen. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. XV/2, S. 721—726. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1965.
- LORENZEN, H.: pH-Wert und Kohlenstoffversorgung bei Wachstum und Photosynthese von Grünalgen. Flora 146, 94—108 (1958).
- MITTENECKER, E.: Planung und statistische Auswertung von Experimenten, 4. Aufl., Deuticke, Wien 1963.
- NEEB, O.: *Hydrodictyon* als Objekt einer vergleichenden Untersuchung physiologischer Größen. Flora 139, 39—95 (1952).
- NEEF, E.: Taschenbuch der Physischen Geographie. Das Gesicht der Erde, 2. Aufl., Deutsch, Frankfurt/Main-Zürich 1966.
- PÄTAU, K.: Zur statistischen Beurteilung von Meßreihen (Eine neue t-Tabelle). Biol. Zentralblatt 63, 152—168 (1943).
- PIRSON, A. u. E. GÖLLNER: Beobachtungen zur Entwicklungsphysiologie der *Lemna minor* L. Flora 140, 485—498 (1953).
- RÖBBELEN, G.: Untersuchungen an strahleninduzierten Blattmutanten von *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Z. Vererbungsl. 88, 189—252 (1957).
- SCHOSER, G.: Pflanzenkultur mit dem Pflanzenstrahler OSRAM-L., „Fluora“. OSRAM GmbH, Berlin-München 1966.
- SCHWEMMLE, J. u. H. FISCHER: Wodurch sind die großen Schwankungen bei der Keimung von *Oenothera*-Samen bedingt? Ber. dtsh. bot. Ges. 76, 147—153 (1963).
- SCHWINCK, L.: Nachweis von Adenosintriphosphorsäure (ATP) in Grünalgen und *Helodea* sowie Einbau von radioaktivem Phosphor (³²P) bei der Photosynthese. Planta 47, 165—218 (1956).
- SOEDER, C. J.: Weitere zellmorphologische und physiologische Merkmale von *Chlorella*-Arten. In: Studies on Microalgae and Photosynthetic Bacteria, p. 21—34. Tokyo 1963.
- SWEENEY, B. M.: Biological clocks in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 14, 411—440 (1963).
- UMBREIT, R. H., R. H. BURRIS and J. F. STAUFFER: Manometric techniques, a manual describing methods applicable to the study of tissue metabolism, 3. Aufl., Burgess, Minneapolis 1957.

Anschrift des Verfassers:

Dr. WOLFGANG LANGNER,
2800 Bremen,
Buntentorsteinweg 74/76

Redaktionelle Hinweise

Die „*Beiträge zur Biologie der Pflanzen*“ erscheinen mit 3 Heften jährlich. Sie stehen grundsätzlich jeder botanischen Forschungsrichtung offen.

Die Manuskripte werden an einen der beiden Herausgeber erbeten: Prof. Dr. Karl Egle, Botanisches Institut der Johann Wolfgang Goethe-Universität, 6 Frankfurt a. M., Siesmayerstr. 70, Prof. Dr. W. Troll, Botanisches Institut, 65 Mainz, Universität.

Die Manuskripte müssen deutlich geschrieben und druckfertig eingeliefert werden. Außergewöhnlich hohe, durch unleserliche Manuskripte oder größere nachträgliche Textänderungen verursachte Korrekturkosten fallen dem Verfasser zur Last. Abbildungen und Tabellen sind auf die unbedingt notwendige Zahl zu beschränken. Die Manuskripte sind ferner auszuzeichnen, d. h. es sind die Autorennamen zu unterstreichen und die wissenschaftlichen Pflanzennamen (Art- und Gattungsnamen) mit Wellenlinie kenntlich zu machen. Der Arbeit ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse im Umfang von höchstens einer Seite anzufügen.

Auf dem Manuskript ist die Anschrift des Verfassers zu vermerken. Änderungen, die darin während der Zeit der Drucklegung eintreten, sind dem Verlag mitzuteilen.

Das Honorar beträgt 30,— DM für den Druckbogen. Mehr als 3 Druckbogen einer und derselben Abhandlung werden nicht honoriert. Die Mitarbeiter erhalten 60 Sonderdrucke kostenfrei. Über diese Zahl hinaus gewünschte Sonderdrucke werden gegen eine angemessene Entschädigung für die entstehenden Mehrkosten geliefert. Besonderer Umschlag mit Titel und Änderung der Paginierung werden ebenfalls berechnet. Es empfiehlt sich, die Kosten hierfür in jedem Fall vorher beim Verlag zu erfragen.

Dunker & Humblot • 1 Berlin 41, Dietrich-Schäfer-Weg 9, Postfach 330

Druck: Berliner Buchdruckerei Union GmbH., 1 Berlin 61

Printed in Germany

Lebenslauf des Verfassers

Wolfgang Wilhelm Johann L a n g n e r
geboren am 18. Juli 1936 in Bremen
als Sohn des Kaufmanns Gustav Langner
und seiner Ehefrau Frieda, geb. Denk.

Schulbildung und Studium:

1943-1945 Volksschule in Langlingen, Kreis Celle

1945-1948 Volksschule in Bremen

1948-1956 Oberschule am Leibnizplatz in Bremen

Reifezeugnis dieser Schule vom 20. Februar 1956

1956-1964 Studium der Naturwissenschaften in Marburg/Lahn,
Münster/Westfalen und Marburg/Lahn.

Staatsexamen für das Höhere Lehramt in Biologie, Chemie
und Leibeserziehung am 1. Dezember 1964 (Marburg/Lahn).

1965 Wiederaufnahme des Studiums in Erlangen.
Fächerverbindung: Botanik, Chemie und Geographie.

